www.freeservicemanuals.info 11/14/2023

14e JAARGANG No. 12, blz. 349-388 DECEMBER 1952

Philips Technisch Tijdschrift

BEHANDELENDE TECHNISCHE VRAAGSTUKKEN
SAMENHANGENDE MET DE PRODUCTEN, WERKWIJZEN EN ONDERZOEKINGEN
VAN DE N.V. PHILIPS' GLOEILAMPENFABRIEKEN

REDACTIE: NATUURKUNDIG LABORATORIUM DER N.V. PHILIPS' GLOEILAMPENFABRIEKEN, EINDHOVEN

EEN DECIMALE TELBUIS VOOR GROTE TELSNELHEDEN

door A. J. W. M. van OVERBEEK, J. L. H. JONKER en K. RODENHUIS.

621.385.832:621.318.57

Men kent reeds lang mechanische telwerken, die, electromagnetisch bewogen, het aantal toegevoerde electrische impulsen tellen. De laatste jaren blijkt meer en meer de behoefte aan telwerken die veel sneller kunnen werken. Deze behoefte bestaat zowel in de communicatietechniek als bij de moderne rekenmachines, bij het meten van frequenties en bij kernphysische metingen. Alleen electronische middelen kunnen hier uitkomst brengen.

Een nieuwe electronenbuis, die in het bijzonder voor tellen is ontworpen, kan impulsen tellen in een zeer snel tempo. Het getelde aantal kan op de buizen zelf worden afgelezen.

Mechanische telwerken die door een electromagneet onder invloed van electrische impulsen worden bewogen, zijn in allerlei vormen bekend. Bij sommige is het aantal impulsen in cijfers afleesbaar, zoals bij tellers van telefoongesprekken; bij andere wordt een schakelarm even veel stappen verzet als er impulsen zijn binnengekomen, waardoor een bepaalde verbinding tot stand komt, zoals bij kiezers in een telefooncentrale. Door de traagheid waarmee het magnetische veld ontstaat of verdwijnt en door de traagheid van de bewegende delen is de telsnelheid van dergelijke electromechanische tellers niet groot. Ze is volkomen onvoldoende voor rekenmachines die duizenden optellingen per seconde moeten maken, voor de impulscodesystemen die worden gebruikt in de communicatietechniek, enz.

Het ligt voor de hand dat men heeft getracht electronenbuizen voor teldoeleinden dienstbaar te maken. Met buizen van het gangbare type komt men dan echter tot vrij grote aantallen buizen, terwijl het zichtbaar maken van het getelde aantal nog een vraagstuk op zichzelf is.

Zowel elders [1]) als in dit tijdschrift [2]) is verslag uitgebracht van het ontwikkelingswerk dat bij Philips is verricht op het gebied van electronenbuizen die zijn bestemd om de functie van electromechanische schakelaars over te nemen. Een van de buizen die uit dit onderzoek zijn voortgekomen, is de decimale telbuis. De in [1]) aangehaalde publicaties hebben er al melding van gemaakt; in het onderstaande wordt deze buis beschreven en een nieuwe schakeling besproken.

Beschrijving van de decimale telbuis

De telbuis bevat een electronenkanon, dat een bundel electronen uitzendt naar de wand van de buis. Een afbuiginrichting met een nader te beschrijven terugkoppeling zorgt er voor dat de bundel tien discrete standen kan innemen. Op de wand is fluorescerend materiaal aangebracht, dat bij ieder van de standen op een andere plaats oplicht, zodat men aan erbij geplaatste cijfers 0, 1, 2...9 (*fig. 1*) de stand van de bundel kan aflezen. Voordat het tellen begint staat de bundel in stand 0, na de eerste impuls komt hij in stand 1, na de tweede in stand 2, enz., tot, na negen impulsen, stand 9 is bereikt. Bij de tiende impuls slaat de bundel terug naar stand 0, en tegelijkertijd wordt een impuls doorgegeven naar een tweede telbuis, waarvan de bundel dientengevolge van stand 0 in stand 1 komt. Deze tweede buis telt dus de tientallen. Een derde buis kan men de honderdtallen laten tellen, een vierde de duizendtallen, enz. (*fig. 2*). Met n buizen in cascade kan men dus tellen tot 10^n-1 ($\approx 10^n$).

[1]) J. L. H. Jonker, Valves with a ribbon-shaped electron beam: contact valve; switch valve; selector valve; counting valve, Philips Res. Rep. **5**, 6-22, 1950; Buizen met een lintvormige electronenbundel, T. Ned. Radiog. **15**, 37-51, 1950. J. L. H. Jonker, A. J. W. M. van Overbeek en P. H. de Beurs, A decade counter valve for high counting rates, Philips Res. Rep. **7**, 81-111, 1952 (No. 2).

[2]) J. L. H. Jonker en Z. van Gelder, Nieuwe electronenbuizen in de communicatietechniek, Philips techn. T. **13**, 1-6 en 33-40, 1951 (Nos. 1 en 2).

Digitized in Heiloo the Netherlands Not for sale!

www.freeservicemanuals.info 11/14/2023

Fig. 1. De decimale telbuis type E1T. Een blauwe fluorescentievlek wijst het cijfer aan dat overeenkomt met de stand van de electronenbundel in de telbuis, dwz. met het getelde aantal impulsen.

Fig. 3a is een horizontale doorsnede van de decimale telbuis, fig. 3*b* is het teken waarvan we ons in schakelschema's zullen bedienen. De kathode is een normale ontvangbuiskathode, met dien verstande echter dat ze maar aan één zijde van de rechthoekige doorsnede emitteert. Een stuurrooster (g_1), een viertal staafvormige focusseerelectrodes (p_1, p_2) en een versnellingselectrode (g_2) vormen met de kathode het electronenkanon. Dit is zo gevormd dat de verkregen electronenbundel niet een ronde maar een lintvormige doorsnede heeft. Zoals elders [1] [2]) is besproken, heeft een lintvormige bundel de volgende voordelen:

1) Men kan gemakkelijk een vrij sterke stroom in de bundel verkrijgen bij slechts lage spanning, bijv. 1 mA bij 300 V.
2) De afmetingen van de buis kunnen klein zijn, ongeveer zo groot als die van een normale ontvangbuis. De telbuis type E1T (fig. 1) heeft een middellijn van max. 36 mm en een hoogte van max. 86 mm.
3) De electrodes, die, zoals in de techniek van de ontvangbuizenfabricage gebruikelijk is, gefixeerd zijn tussen micaplaatjes, behoeven slechts in één dimensie nauwkeurig op hun plaats te staan, namelijk in de richting loodrecht op het vlak van de bundel; bij een bundel met ronde doorsnede daarentegen zou men moeten centreren in twee richtingen, wat de fabricage aanzienlijk moeilijker zou maken.

De onder 1) en 2) genoemde voordelen kunnen als volgt worden toegelicht. Dat de grote stroom ook bij een telbuis een voordeel is, hangt samen met de snelheid van tellen. In het algemeen is namelijk

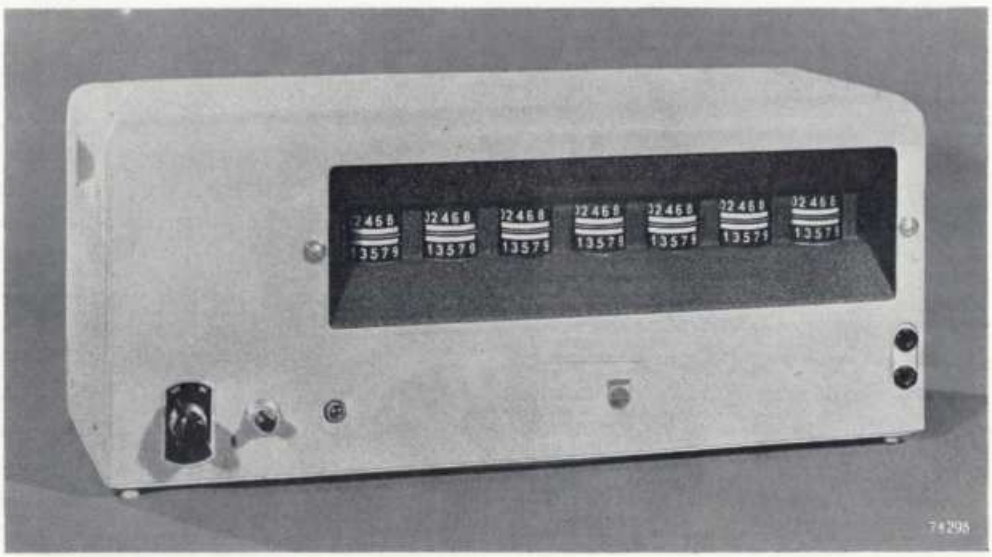


Fig. 2. Teller met zeven in cascade geschakelde decimale telbuizen E1T, die tot 10^7-1 kan tellen met een snelheid van 30 000 impulsen per seconde. Op de buizen zelf worden afgelezen, van links naar rechts, resp. de millioenen, de honderdduizendtallen, de tienduizendtallen, enz.

Links beneden: de netschakelaar, een drukknop waarmee men vóór een telling alle telbuizen op 0 zet, en een signaallampje.

Rechts beneden: de ingangsklemmen.

Digitized in Heiloo the Netherlands Not for sale!

www.freeservicemanuals.info 11/14/2023

de tijd die nodig is voor een „electronische gebeurtenis", evenredig met VC/I, waarin V het spanningsverschil is dat de electronen hebben doorlopen, I de stroom en C de capaciteit tussen de electrodes. Om deze tijd kort te houden, moeten we dus V laag en I groot kiezen; in beide opzichten is de lintvorm gunstig. Daar C evenredig is met de lineaire afmetingen van het electrodensysteem, moet men tevens ernaar streven dit systeem klein te construeren — dwz. gebruik maken van de ontvangbuizentechniek. Uiteraard zijn de daaruit voortvloeiende geringe uitwendige afmetingen van de buis welkom uit het oogpunt van ruimtebesparing.

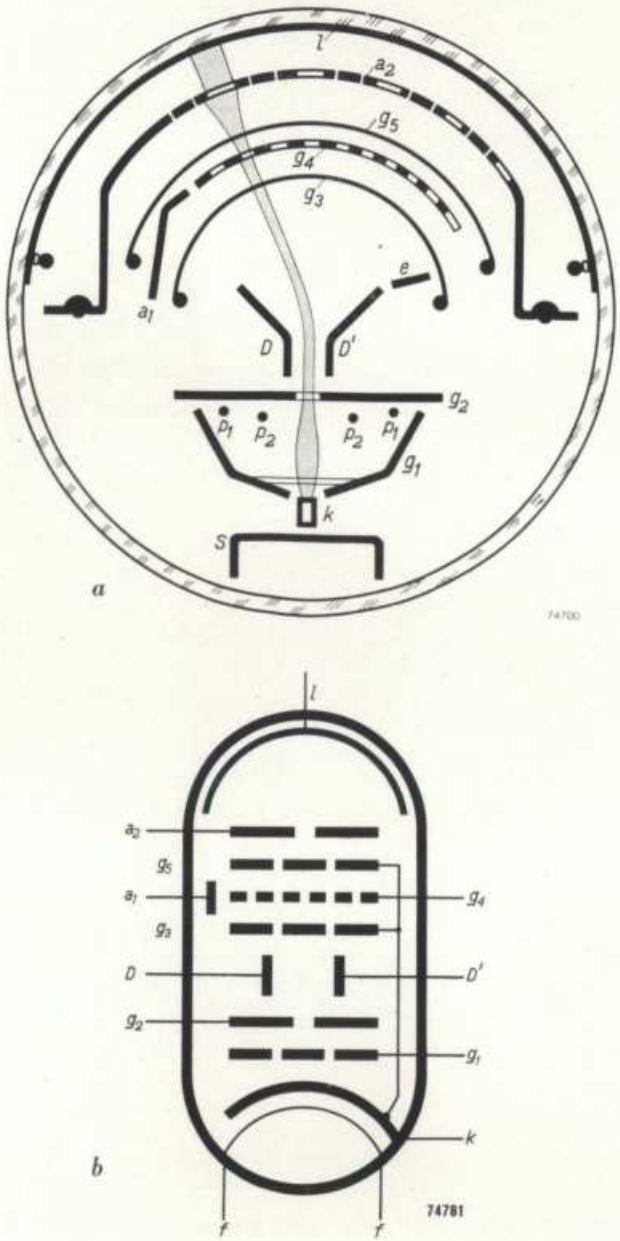


Fig. 3. *a*) Horizontale doorsnede en *b*) schemateken van de decimale telbuis. De kathode k (met gloeidraad f), het stuurrooster g_1, de vier inwendig aangesloten focusseerelectrodes p_1 en p_2 en de versnellingselectrode g_2 vormen een electronenkanon, dat een lintvormige electronenbundel levert (breedterichting van het lint loodrecht op het vlak van tekening). D, D' afbuigplaten. g_3, g_5 remroosters. a_1 terugslaganode. g_4 electrode met tien sleuven. a_2 anode. l fluorescerende laag, met geleidende onderlaag. Scherm s (inwendig verbonden met k) voorkomt dat primaire electronen op de ballon terechtkomen. Hulpanode e (inwendig verbonden met g_2) vangt secundaire electronen op.

De verkregen lintvormige bundel loopt tussen twee afbuigplaten door (D, D', fig. 3). Deze zijn zo geplaatst dat de bundel in elk van zijn uiterste standen rakelings langs één van de platen gaat. Daardoor is de afbuigingsgevoeligheid zo groot mogelijk.

Bij bepaalde grootten van de afbuiging valt de bundel door één van de tien verticale sleuven in de zg. sleufelectrode (g_4), die een positieve spanning heeft. Aanstonds zullen we zien hoe een bepaalde schakeling ervoor zorgt dat de bundel alleen maar in deze tien standen kan blijven staan. Van de electronen die een sleuf passeren, valt een gedeelte op de anode (a_2), die achter de sleufelectrode is geplaatst; de rest treedt door een opening in deze anode en valt op de wand. Op het deel van de wand dat zich achter de anode bevindt, is een fluorescerende stof aangebracht. Achter de opening in de anode waar electronen doorheen vallen, ontstaat een fluorescerende lichtvlek; het er bij geplaatste cijfer (fig. 1) geeft dus de stand van de bundel aan.

Door sleuf 9 vallend, is de bundel nog niet in zijn uiterste stand, maar kan hij onder invloed van een volgende impuls nog iets verder uitwijken. Gebeurt dit, dan valt hij op de zg. terugslaganode (a_1). Het treffen van deze terugslaganode leidt het terugspringen naar stand 0 in. Alvorens hierop in te gaan, willen we beschrijven hoe de bundel in bepaalde standen wordt gefixeerd.

Fixering van de bundel

In *fig. 4a* is schematisch een denkbeeldige kathodestraalbuis voorgesteld, die een electronenkanon, een paar afbuigplaten en een anode bevat. Houden we de potentiaal v_D van de ene afbuigplaat constant en variëren we de potentiaal $v_{D'}$ van de andere, dan beweegt de electronenbundel over de anode, maar de anodestroom i_a blijft constant (lijn I in fig. 4*b*). Verbinden we de afbuigplaat D' met de anode en voeden we deze twee electrodes over een gemeenschappelijke weerstand R_a uit een batterij met spanning V_B (fig. 4*c*), dan geldt bovendien

$$v_{a_2} = v_{D'} = V_B - i_a R_a. \quad . \quad . \quad . \quad . \quad (1)$$

Deze betrekking wordt voorgesteld door de lijn II in fig. 4*b*. Het snijpunt P van de lijnen I en II geeft de evenwichtstoestand weer; de plaat D' krijgt daarbij een potentiaal die overeenkomt met de

Digitized in Heiloo the Netherlands Not for sale!

www.freeservicemanuals.info 11/14/2023

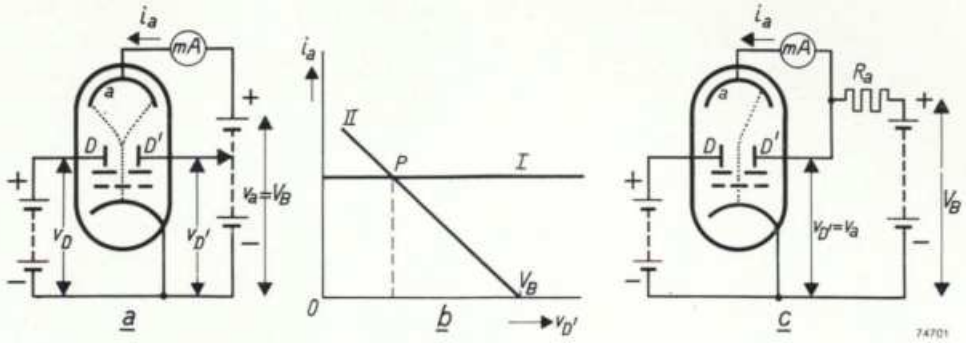


Fig. 4. *a*) Denkbeeldige kathodestraalbuis met een electronenkanon, afbuigplaten D, D' en anode a. Bij v_a en v_D constant kan men door variëren van $v_{D'}$ de electronenbundel iedere stand geven tussen de gestippeld getekende uiterste standen in. De anodestroom i_a is daarbij constant, zie I in (*b*).

c) Worden D' en a over een gemeenschappelijke weerstand R_a verbonden met de positieve pool van een batterij met spanning V_B, dan geldt bovendien verg. (1), die wordt voorgesteld door de lijn II in (*b*). De bundel kan nu slechts in één stand staan, bepaald door de abscis van het snijpunt P.

abscis van P, en bij deze bepaalde potentiaal behoort een bepaalde stand van de bundel.

Van dit beginsel wordt gebruik gemaakt om in de telbuis de standen van de bundel te fixeren. Ook hier worden de anode a_2 en de ene afbuigplaat D' (die aan de kant van het cijfer 0) over een gemeenschappelijke weerstand R_{a_2} aangesloten op een gelijkspanningsbron V_B (*fig. 5*); de potentiaal van D' en a_2 noemen we v_{D',a_2}. In de plaats van de rechte lijn I van fig. 4*b* treedt nu echter de golvende lijn I van *fig. 6*; hoe deze is verkregen, zal dadelijk ter sprake komen. Deze kromme I wordt door de „weerstandslijn" II 19 maal gesneden. Ieder van deze snijpunten komt overeen met een evenwichtstoestand — zij het dan ook dat alleen de tien van *0* tot *9* genummerde snijpunten stabiele standen vertegenwoordigen. Dat de bundel in zijn stabiele standen staat zoals in fig. 3*a* schematisch is weergegeven, namelijk ten dele vallend door een sleuf en ten dele op de „dam" links van deze sleuf, is gemakkelijk in te zien: bij verdere afbuiging naar links neemt de stroom i_a dan immers aanvankelijk af, in overeenstemming met het verloop van de karakteristiek I in de omgeving van de snijpunten *0...9* (fig. 6).

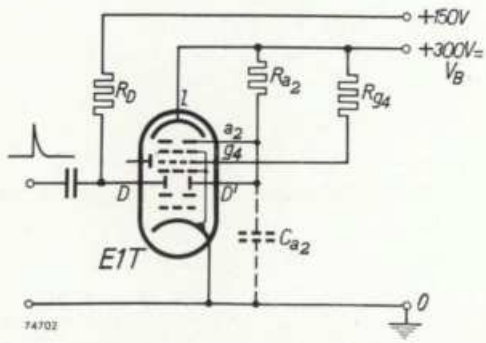


Fig. 5. Telbuis E1T, waarvan de anode a_2 en de afbuigplaat D', evenals bij de buis in fig. 4*c*, over een gemeenschappelijke weerstand R_{a_2} worden gevoed. De bundel heeft nu even veel stabiele standen als er sleuven in de electrode g_4 zijn (zie ook fig. 6). Door aan D positieve impulsen toe te voeren kan men de bundel sprongsgewijs verplaatsen (zie later). C_{a_2} parasitaire capaciteit.

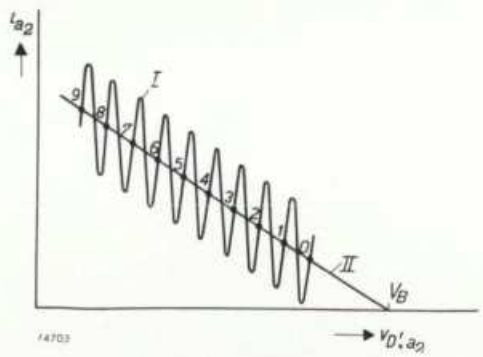


Fig. 6. Bij de decimale telbuis heeft de karakteristiek $i_{a_2} = f(v_{D',a_2})$ de gedaante van de golflijn I. De rechte II is de „weerstandslijn" volgens verg. (1). Alleen de van *0* tot *9* genummerde snijpunten van I en II vertegenwoordigen stabiele standen van de bundel; de andere komen overeen met labiele standen. V_B is niet veel groter dan de abscis van het snijpunt *0*.

Hoe de karakteristiek $i_{a_2} = f(v_{D',a_2})$ is verkregen

In *fig. 7a* zijn een sleufelectrode en een anode getekend als platte vlakken. Ondersteld is dat de tien sleuven even groot zijn en zich op gelijke afstanden van elkaar bevinden, en dat de dikte van de lintvormige electronenbundel groter is dan de sleufbreedte en kleiner dan de breedte van de dammen tussen de sleuven.

Laat men nu, door de spanning v_{D',a_2} te verlagen, de bundel van sleuf *0* naar sleuf *9* bewegen, dan zou men op het eerste gezicht een karakteristiek $i_a = f(v_{D',a_2})$ verwachten zoals kromme I in fig. 7*b*: telkens als de bundel op een sleuf is gericht, bereikt

Digitized in Heiloo the Netherlands Not for sale!

www.freeservicemanuals.info 11/14/2023

i_{a_2} een maximum (dat bij alle sleuven even hoog is), en telkens als hij midden tussen twee sleuven in staat, is i_{a_2} nul.

Even aannemende dat de karakteristiek deze vorm had, zou men te werk kunnen gaan volgens fig. 5, en V_B en R_{a_2} een zodanige waarde kunnen geven dat de lijn *II*, die verg. (1) grafisch voorstelt, alle golven van *I* snijdt (fig. 7*b*). In werkelijkheid echter zal, met een sleufelectrode zoals die van fig. 7*a*, de karakteristiek $i_a = f(v_{D'}, a_2)$ niet de vorm hebben van *I* in fig. 7*b*, maar van *I* in fig. 7*c*. Deze vorm heeft als nadelen dat de grootte van R_{a_2} (de helling van de lijn *II*) tussen zeer nauwe grenzen moet blijven en dat men V_B veel hoger moet kiezen, wil men verhinderen dat aan de linkerkant een of meer snijpunten zouden komen te vervallen. Het in fig. 7*c* weergegeven verloop van *I* is een gevolg van de asymmetrie in de afbuiging (v_D constant, $v_{D'}$ variabel).

Deze asymmetrie is er namelijk oorzaak van dat de bundel, naarmate hij zich verder naar links verplaatst, minder scherp op de sleufelectrode wordt gefocusseerd en daar ter plaatse dus breder wordt. Door de sleuven met hoge nummers vallen per seconde dus minder electronen dan door die met lage nummers, dwz. de toppen van i_{a_2} worden, als de bundel van rechts naar links gaat, lager. Nog sterker is de invloed van de defocussering op de minima, daar de bundel bij het afbuigen al spoedig zo breed wordt dat er, als hij op een dam is gericht, door de naburige sleuven toch enige stroom gaat. Een en ander maakt dus dat de amplitude van de kromme *I* aan de linkerkant kleiner wordt.

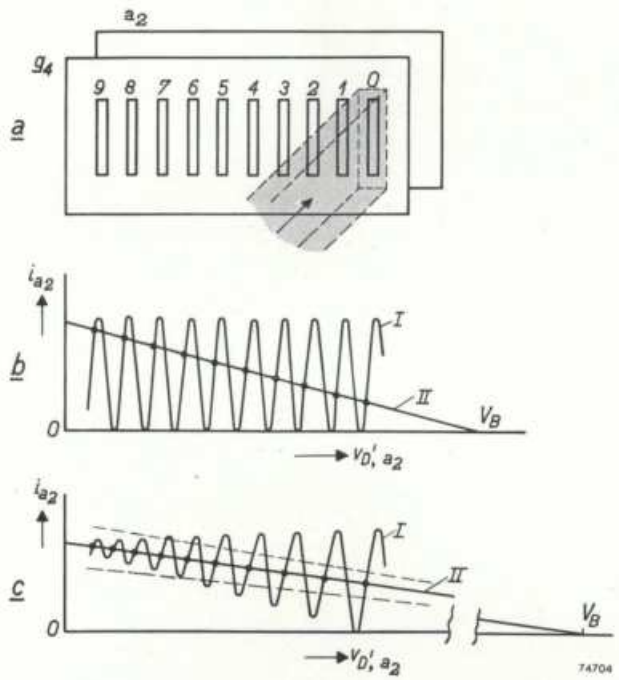


Fig. 7. *a*) a_2 anode en g_4 sleufelectrode van een (primitieve) decimale telbuis, beide getekend als platte vlakken. De tien sleuven zijn hier even groot en bevinden zich op gelijke afstanden van elkaar.
b) *I:* karakteristiek $i_{a_2} = f(v_{D'}, a_2)$ die men in het geval (*a*) op het eerste gezicht zou verwachten. *II* is weer de weerstandslijn.
c) Doordat bij afbuiging naar links de bundel gedefocusseerd wordt, neemt de karakteristiek $i_{a_2} = f(v_{D'}, a_2)$ in werkelijkheid de hier getekende vorm *I* aan. Bij kleine variaties in R_{a_2} (gestippelde weerstandslijnen) gaan er aan de linkerkant snijpunten verloren. Bovendien moet V_B veel hoger zijn dan de waarde van $v_{D'}, a_2$ die bij het snijpunt *0* behoort.

Om de veel gunstiger karakteristiek *I* van fig. 6 te krijgen, hebben we in de sleufelectrode extra-openingen aangebracht, die mede door de bundel worden bestreken en een grotere extra-stroom doorlaten naarmate de bundel verder naar links gaat.

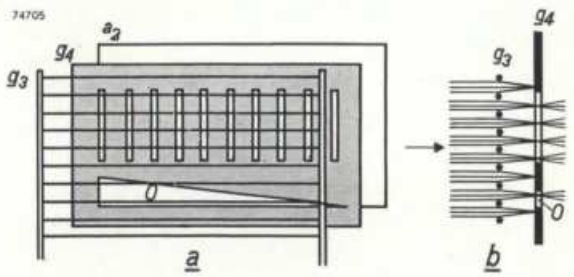


Fig. 8. *a*) Om de karakteristiek *I* van fig. 6 te krijgen, zou men de electrode g_4, behalve van de tien sleuven, kunnen voorzien van een driehoekige opening *O*, waar een extra-stroom doorheen gaat die groter is naarmate de bundel verder naar links wordt afgebogen. Door de werking van het remrooster g_3 echter (zie de dwarsdoorsnede *b*) is de grootte van de extra-stroom te veel afhankelijk van de plaatsing van g_3 ten opzichte van de opening *O*.

Het meest voor de hand ligt het aanbrengen van een driehoekige opening (*O* in *fig. 8*). Toch zou daarmee het gewenste effect slechts zeer moeilijk zijn te verkrijgen. Dit is een gevolg van de aanwezigheid van een remrooster (g_3) vóór de sleufelectrode. De horizontale draden waaruit dit rooster bestaat, maken dat de stroomdichtheid in de bundel niet over de doorsnede constant is, maar in verticale richting varieert tussen minima (achter de draden van het rooster) en maxima (midden tussen de minima in), zie fig. 8*b*. De roosterdraden snijden het „lint" dus als het ware tot een aantal zich boven elkaar bevindende „draden". Het hangt nu zeer sterk af van de stand der roosterdraden ten opzichte van de driehoekige opening (waarvan de hoek rechts zeer klein is), hoe de stroom die door deze opening treedt, in sterkte varieert als functie van de afbuigingshoek. Dit maakt de fabricage moeilijk.

We hebben daarom afgezien van een lange smalle opening en gebruiken vrij b r e d e openingen, waarvan de plaats ten opzichte van de roosterdraden er niet zo nauwkeurig op aan komt. Zoals in *fig. 9* is te zien, valt, te beginnen met sleuf 5, een deel van de bundel door een opening O_1. Bovendien is in de standen 8 en 9 een tweede opening werkzaam (O_2).

Digitized in Heiloo the Netherlands Not for sale!

www.freeservicemanuals.info 11/14/2023

Als tweede maatregel om de golvende karakteristiek te laten oplopen, is iedere sleuf iets groter gemaakt dan haar voorgangster: van *2* naar *9* neemt de breedte telkens toe, en *1* is iets lager dan *2...9*. Sleuf *0*, die juist bijzonder groot is, maakt hierop een uitzondering; de reden zal straks blijken. Om te voorkomen dat de bundel om de rand van deze brede opening heen zou buigen — waardoor het cijfer 1 zou kunnen worden geïndiceerd —, is sleuf *0* met gaas bedekt.

Door deze maatregelen is de karakteristiek geworden als is afgebeeld in *fig. 10* [3]). Dank zij het oplopen van de karakteristiek behoeft V_B niet veel hoger te zijn dan de waarde van v_{D',a_2} waarbij de bundel in stand 0 staat. Men kan volstaan met $V_B = 300$ V; zoals uit een straks te bespreken schema zal blijken, kunnen alle andere gelijkspanningen die de buis nodig heeft, aan dezelfde bron worden ontleend. R_{a_2} moet ongeveer gelijk zijn aan de gemiddelde helling van de karakteristiek, die omstreeks 1 MΩ bedraagt, maar dank zij de grote amplitude van de golven heeft men in de grootte van R_{a_2} een redelijke speling, al blijft het om andere redenen gewenst, de afwijking binnen 1% te houden.

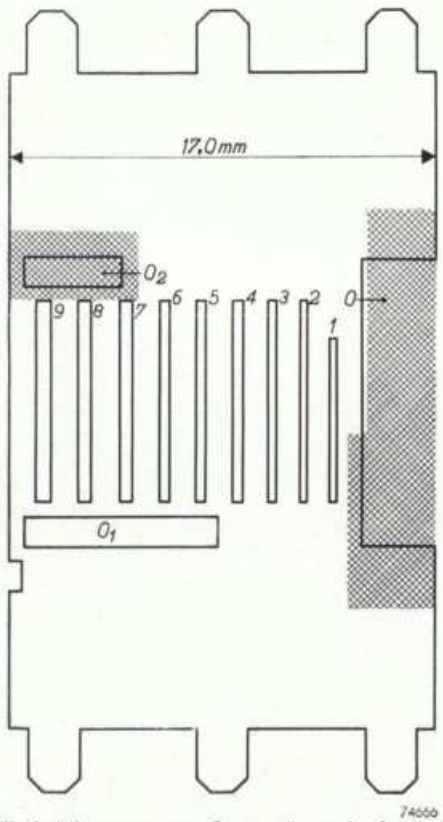


Fig. 9. Werkelijke vorm van de openingen in de sleufelectrode g_4 (als plat vlak getekend). In de volgorde van *1* tot *9* worden de sleuven groter en neemt hun onderlinge hartafstand toe. Extra-stroom wordt doorgelaten door twee openingen, O_1 en O_2, waarvan de bovenste met gaas is bedekt, evenals sleuf *0*.

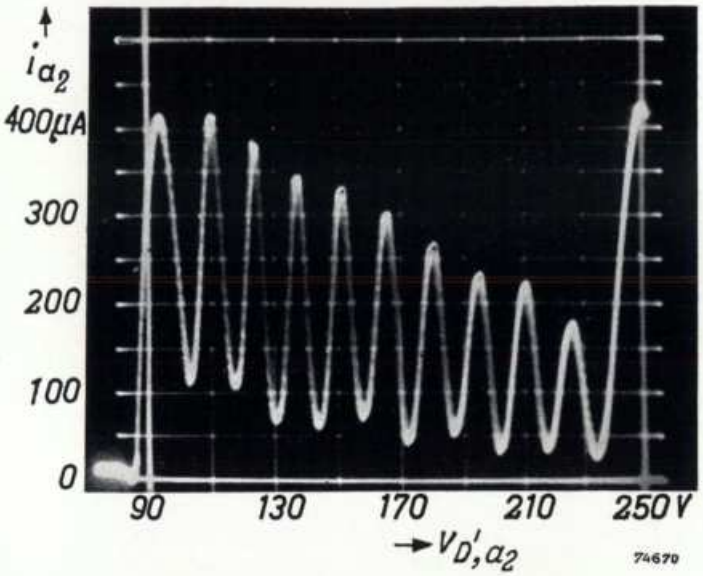


Fig. 10. Oscillografisch [3]) opgenomen karakteristiek $i_{a_2} = f(v_{D',a_2})$ van de telbuis E1T. Vgl. kromme *I* van fig. 6.

Remroosters, anode en fluorescentiescherm

Het genoemde remrooster g_3 (fig. 8) heeft tot taak het terugwerpen van secundaire electronen die door de sleufelectrode worden geëmitteerd en anders grotendeels naar de afbuigplaten zouden gaan. Een klein deel van deze electronen komt echter nog door het remrooster heen, wat vooral hinderlijk is als de bundel in stand 0 of 1 staat; daarom is aan de rechterkant een hulpanode aangebracht (*e* in fig. 3*a*), die op een spanning van 300 V staat en deze electronen opvangt. Het scherm *s*, dat achter de kathode staat en ermee is verbonden, voorkomt dat de ballon wordt getroffen door primaire electronen.

Een tweede remrooster (g_5, fig. 3) is aangebracht tussen de sleufelectrode en de anode en dient voor het remmen van secundaire electronen die uit de anode komen. Het bewerkstelligt bovendien dat de bundel primaire electronen, die door het eerste remrooster tot „draden" werd gesneden (fig. 8*b*), achter het tweede remrooster weer homogeen lintvormig wordt (*fig. 11*) [4]). Gebeurde dit niet,

[3]) Opgenomen met een apparatuur zoals is beschreven in Philips techn. T. **12**, 287-296, 1950.

Het oscillogram vertoont één piek meer dan de theoretische kromme van fig. 6. Dit komt doordat in werkelijkheid ook een piek optreedt — de meest linkse in fig. 10 — wanneer de bundel tussen de sleufelectrode en de terugslaganode door gaat. Voor de werking van de buis is deze piek van geen belang.

[4]) J. L. H. Jonker en B. D. H. Tellegen, Philips Res. Rep. **1**, 12-19, 1945.

Digitized in Heiloo the Netherlands Not for sale!

www.freeservicemanuals.info 11/14/2023

dan zouden de electronen die door een van de tien openingen der anode vallen, op de fluorescerende laag niet een gelijkmatig lichtende, maar een minder duidelijke, verbrokkelde lichtvlek doen ontstaan. We krijgen weer een homogene bundel door het

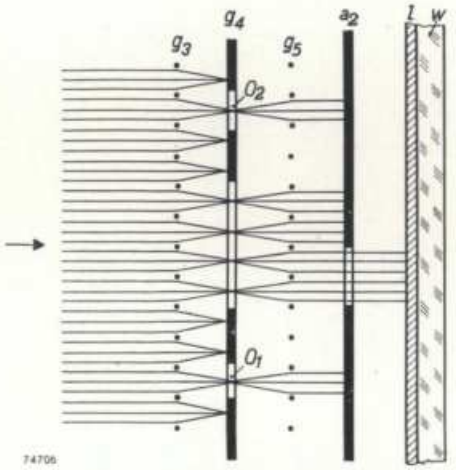


Fig. 11. Dwarsdoorsnede door eerste remrooster g_3, sleufelectrode g_4, tweede remrooster g_5, anode a_2, fluorescerende laag l en glazen wand w. Door g_5 de juiste spoed en stand te geven verkrijgt men achter g_5 weer een homogene bundel.

rooster g_5 dezelfde spoed te geven als g_3 en het zo op te stellen dat zijn draden met die van g_3 in dezelfde horizontale vlakken liggen (fig. 11).

De fluorescerende laag bevat een speciaal bereid, blauw lichtend zinkoxyde, dat als fluorescerende stof een zeer lange levensduur heeft. Het is aangebracht op een geleidende laag, die op een spanning van 300 V wordt gebracht.

Om de cijfers goed afleesbaar te doen zijn, zijn ze in twee rijen boven elkaar geplaatst: 0...8 en 1...9 (fig. 1). In overeenstemming daarmee zijn de openingen in de anode aangebracht; zie *fig. 12*, waarin verschillende onderdelen van de buis te zien zijn.

Mechanisme der beweging van de bundel van 0 naar 9

Over een scheidingscondensator worden de te tellen spanningsimpulsen met positieve polariteit toegevoerd aan de linker afbuigplaat (D), zoals is afgebeeld in fig. 5.

Om in te zien hoe de bundel bij elke impuls in een volgende stand komt, bedenke men dat de karakteristiek I in fig. 6 geldt voor een constante spanning v_D op de linker afbuigplaat en dat de hoek van afbuiging een functie is van $v_{D'} - v_D$. Een verhoging van v_D met een bedrag V_i komt er dus op neer dat de lijn I naar rechts schuift over een afstand overeenkomend met V_i (*fig. 13*).

We gaan ervan uit dat de bundel in een van zijn stabiele standen staat, bijv. in stand 0. Stel dat op de linker plaat een positieve impuls wordt gegeven, dus dat v_D tijdelijk wordt verhoogd. De bundel krijgt de neiging naar links te bewegen; er gaan dan minder electronen door sleuf *0*, dwz. de anode-

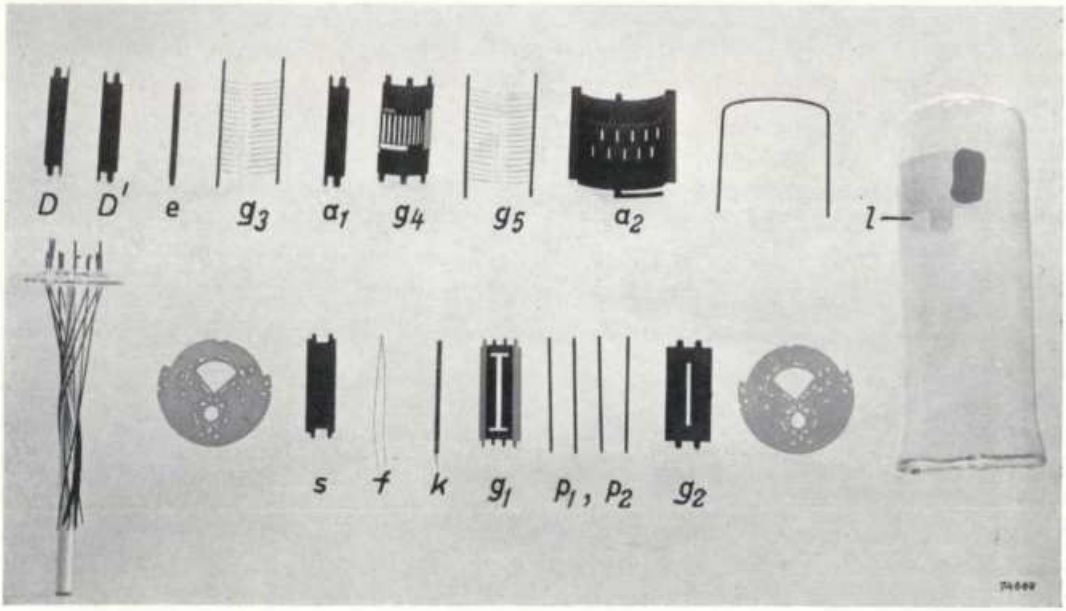


Fig. 12. Onderdelen van de telbuis E1T. De letters hebben dezelfde betekenis als in fig. 3.
Onderste rij, van links naar rechts: brugje met pompstengel, micaplaatje, scherm (s), gloeidraad (f), kathode (k), stuurrooster (g_1), vier focusseerelectrodes (p_1, p_2), versnellingselectrode (g_2), tweede micaplaatje.
Bovenste rij, van links naar rechts: de twee afbuigplaten (D, D'), hulpanode (e), eerste remrooster (g_3), terugslaganode (a_1), sleufelectrode (g_4), tweede remrooster (g_5), anode (a_2), verende beugel (om contact te maken met de geleidende laag op de ballonwand), ballon met fluorescerende laag (l).

Digitized in Heiloo the Netherlands Not for sale!

www.freeservicemanuals.info 11/14/2023

stroom i_{a_2} neemt af. Indien er geen parasitaire capaciteiten waren, zou de vermindering van i_{a_2} de anode en de daarmee verbonden rechter afbuigplaat in potentiaal doen stijgen, en deze toeneming

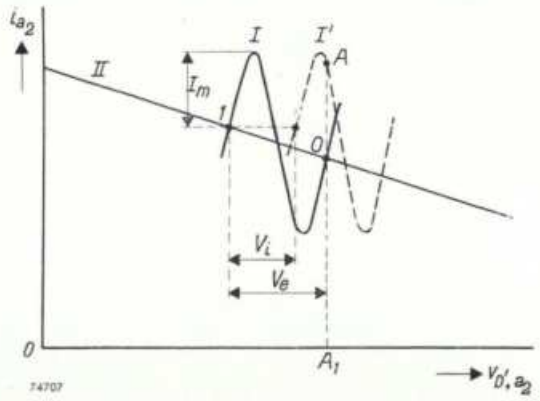


Fig. 13. Karakteristiek $i_{a_2} = f(v_{D',a_2})$ van de telbuis, voor een bepaalde spanning v_D op de linker afbuigplaat; I' dezelfde karakteristiek voor de spanning $v_D + V_i$ op de linker afbuigplaat. II weerstandslijn. I_m amplitude van de golven. V_e horizontale afstand tussen naburige stabiele snijpunten.

van v_{D',a_2} zou de afbuiging naar links tegenwerken, met het gevolg dat de bundel in stand 0 werd vastgehouden.

In werkelijkheid echter is er een zekere parasitaire capaciteit tussen de electrodes a_2 en D' en hun bedrading enerzijds en aarde anderzijds; deze capaciteit, in fig. 5 voorgesteld door C_{a_2}, staat parallel met R_{a_2} en verhindert plotselinge potentiaalveranderingen van a_2 en D'. Indien is voldaan aan de voorwaarde dat het front van de impuls voldoende steil loopt, kan men de potentiaal v_{D',a_2} beschouwen als constant gedurende de tijd ϑ_1 waarin de impuls aangroeit (*fig. 14*). Dit betekent dat in fig. 13 de lijn I over een afstand gelijk aan de amplitude V_i van de impuls naar rechts wordt verschoven (I'), dus dat de anodestroom de waarde A_1A aanneemt. Deze verschilt van de oorspronkelijke waarde, welke waarde de door R_{a_2} lopende stroom nog steeds heeft; het verschil wordt geleverd door de capaciteit C_{a_2}.

Is nu tevens voldaan aan een tweede voorwaarde, namelijk dat de tijd ϑ_2 waarin de impuls van V_i tot nul afneemt, lang genoeg is, dan schuift de karakteristiek I' geleidelijk naar I terug en gaat A over naar het naburige stabiele snijpunt van I en II, i.c. punt 1. Om de bundel aldus juist één stap naar links te doen gaan, moeten we aan de impuls nog een derde voorwaarde stellen, namelijk dat de amplitude V_i ongeveer gelijk is aan het spanningsverschil V_e dat overeenkomt met de horizontale afstand tussen naburige stabiele snijpunten en dat ongeveer 14 V bedraagt; het is duidelijk dat de bundel bij een te kleine amplitude in zijn oorspronkelijke stand terugkeert en bij een te grote amplitude twee of meer stappen verder gaat.

De asymmetrie van de afbuiging brengt mee dat telkens als de bundel een stap verder naar links wordt afgebogen, de gemiddelde potentiaal in de ruimte tussen de afbuigplaten daalt, daar v_{D',a_2} afneemt en v_D constant blijft. Als gevolg hiervan neemt daarbij de afbuigingsgevoeligheid toe, dwz. met eenzelfde vergroting van de afbuiging correspondeert links een kleinere daling van $v_{D'}$ dan rechts. Voor het geval van de primitieve sleufelectrode van fig. 7*a*, met gelijke afstanden tussen de sleuven, betekent dit dat de snijpunten van I en II in de richting van rechts naar links dichter bij elkaar komen (zie fig. 7*c*), dus dat V_e van rechts naar links afneemt. Dit is ongewenst, want het verkleint de tolerantie in de amplitude V_i van de impulsen. Aan dit bezwaar is tegemoet gekomen door de hartafstand tussen de sleuven in de richting van 0 naar 9 te laten toenemen, zodanig dat dit de groter wordende afbuigingsgevoeligheid juist compenseert.

In de practijk blijkt dat de aan de impuls te stellen eisen ongeveer als volgt kunnen worden geformuleerd, als we de ogenblikswaarde van de impulsspanning aangeven met v_i en de tijd met t:

$$\text{interval } \vartheta_1: \qquad \frac{dv_i}{dt} \geqq 3\,\frac{I_m}{C_{a_2}}, \quad \ldots\ldots \quad (2)$$

$$\text{interval } \vartheta_2: \qquad -\frac{dv_i}{dt} \leqq 0{,}3\,\frac{I_m}{C_{a_2}}. \quad \ldots\ldots \quad (3)$$

Theoretisch zou men verwachten dat de amplitude van V_i mag liggen tussen $\frac{1}{2}V_e$ en $\frac{3}{2}V_e$, maar er zijn verschillende oorzaken waardoor de grenzen nauwer worden. In feite blijkt te gelden:

$$\left.\begin{array}{l} 11{,}5\text{ V} < V_i < 16\text{ V} \\ \text{of} \qquad V_i = 13{,}6\text{ V} \pm 18\,\%. \end{array}\right\} \quad \ldots\ldots \quad (4)$$

Met de volgende numerieke waarden: $I_m = 0{,}1$ mA en $C_{a_2} = 15$ pF, vindt men dat v_i moet toenemen met ten minste 20 V/μs en vervolgens moet afnemen met ten hoogste 2 V/μs. Bij deze grenswaarden der steilheden en $V_i = 14$ V is $\vartheta_1 = 0{,}7$ μs en $\vartheta_2 = 7$ μs.

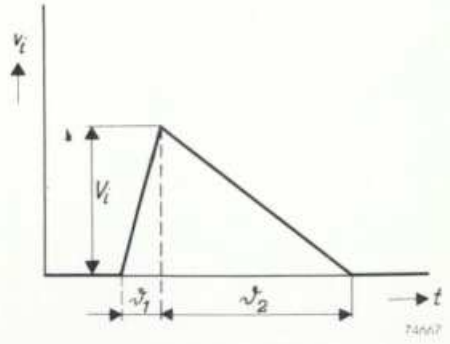


Fig. 14. Impulsspanning v_i als functie van de tijd t. V_i amplitude. ϑ_1 tijd van toeneming. ϑ_2 tijd van afneming.

Digitized in Heiloo the Netherlands Not for sale!

www.freeservicemanuals.info 11/14/2023

Voldoen de te tellen impulsen niet aan de genoemde eisen, dan moet men ze toevoeren aan een impulsvormer („pulse shaper"), d.i. een inrichting die per toegevoerde impuls een impuls van de gewenste vorm en grootte voortbrengt. Op zulk een inrichting komen wij in het volgende terug.

Een schakeling die 30 000 impulsen per seconde kan tellen

Zoals in het voorgaande al werd opgemerkt, moet bij een telbuis het binnenkomen van iedere tiende impuls twee gevolgen hebben: ten eerste dat in de beschouwde buis de bundel van stand 9 terugspringt naar stand 0, en ten tweede dat een impuls wordt doorgegeven naar de volgende telbuis om hierin de bundel één stap te doen verspringen. Beide gebeurtenissen worden ingeleid doordat iedere tiende impuls de in stand 9 staande bundel aanvankelijk nog verder naar links afbuigt, zodat deze de sleufelectrode verlaat en op de terugslaganode terecht komt.

De terugslaganode is met de klem van +300 V verbonden over een weerstand. Haar potentiaal (v_{a1}) hangt dus af van i_{a1}, dus van de mate waarin ze door de bundel wordt getroffen. De veranderingen van v_{a1} nu worden op de een of andere wijze dienstbaar gemaakt om de terugslag in te leiden en om het doorgeven van een impuls naar de volgende telbuis tot stand te doen komen.

Er zijn verscheidene schakelingen bedacht waarmee dit kan geschieden. Bij nader onderzoek bleken sommige het nadeel te hebben dat ze slechts voor vrij kleine telsnelheden geschikt zijn (doordat de terugslag betrekkelijk langzaam gaat), andere dat ze al fouten gaan maken als de weerstanden of capaciteiten in zeer geringe mate afwijken van de nominale waarde, of als men een telbuis door een ander exemplaar vervangt.

Dergelijke bezwaren gelden niet voor de uitvoerig onderzochte telschakeling die hieronder wordt beschreven en waarvan fig. 2 een uitvoeringsvorm weergeeft. Ze is o.a. hierdoor gekenmerkt dat achter iedere telbuis een impulsvormer is geschakeld, die aan de voorafgaande telbuis een terugslagimpuls en aan de volgende telbuis een telimpuls levert. Bovendien bevindt zich vóór de eerste telbuis een impulsvormer (van iets ander type), die bij telschakelingen gebruikelijk is en ten doel heeft, de te tellen impulsen om te zetten in impulsen van de juiste vorm en grootte. In beide soorten van impulsvormers wordt een dubbele triode (E 90 CC) gebruikt. Bij n telbuizen heeft men dus $n+1$ buizen E 90 CC nodig (zie *fig. 15*).

Wij zullen nu de twee soorten van impulsvormers afzonderlijk bespreken.

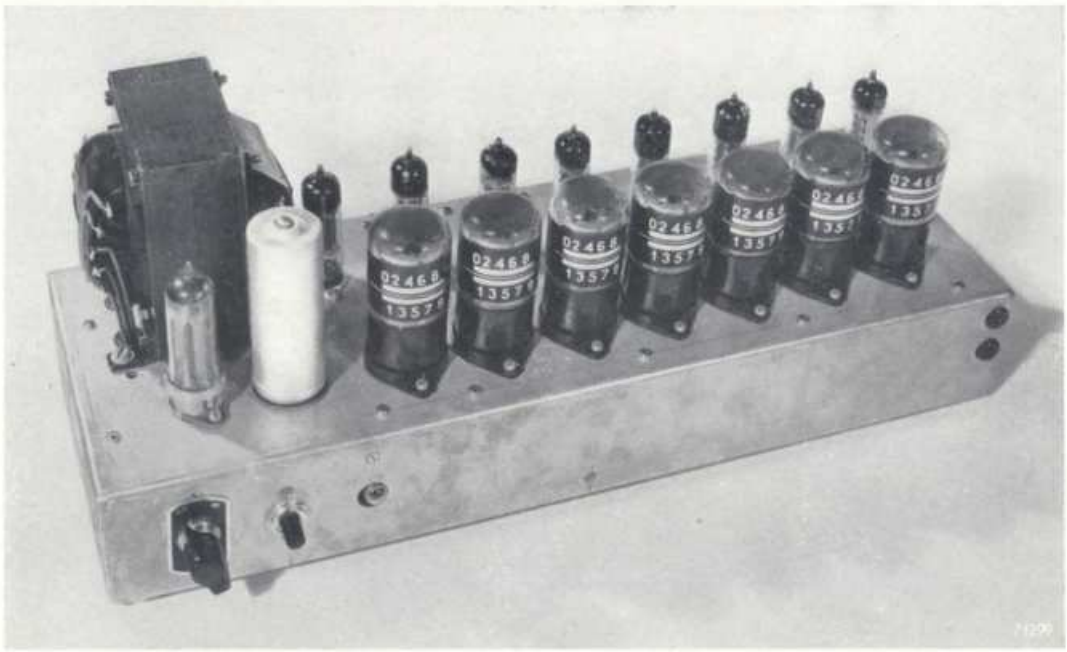


Fig. 15. De in fig. 2 afgebeelde teller, geopend. Achter de zeven telbuizen E1T ziet men acht dubbele triodes E 90 CC, die in de impulsvormers dienst doen. Links de gelijkrichtbuis AZ 41, die het geheel van gelijkstroom voorziet (300 V, circa 50 mA).

Digitized in Heiloo the Netherlands Not for sale!

www.freeservicemanuals.info 11/14/2023

Impulsvormer volgend op een telbuis

De impulsvormer die op een telbuis volgt, komt in werking telkens als hij een impuls ontvangt van de terugslaganode der vorige telbuis. Hij levert dan een telimpuls van de juiste vorm en amplitude aan de volgende telbuis en zorgt er tevens voor dat de stroom in de voorafgaande telbuis tijdelijk wordt onderdrukt, lang genoeg om de anodespanning van deze buis gelegenheid te geven op te lopen tot de waarde die behoort bij stand 0, waarna de anodestroom weer wordt ingeschakeld.

fungeert en T' stroomloos houdt. We noemen de anodes van T en T' resp. a en a', en de roosters resp. g en g'. Wordt de stroom in T door een negatieve impuls op g verkleind, dan stijgt de potentiaal van a, en ook die van g', want g' is over een condensator (C_2) met a gekoppeld. De potentiaalstijging van g' maakt dat er stroom door T' gaat lopen, en wel een aanzienlijk grotere stroom dan er door T ging, daar de anodeweerstand van T' veel kleiner is dan die van T ($R_a' = 3300\ \Omega$, $R_a = 39\,000\ \Omega$). Deze grotere stroom doet de kathodepotentiaal zo veel toenemen dat T geheel stroomloos wordt.

Intussen wordt de koppelcondensator C_2 geladen. De laadstroom loopt door de weerstand R_1 en veroorzaakt daarin een spanningsverval, dat als positieve roosterspanning voor T' fungeert. De laadstroom neemt exponentieel af, de potenti-

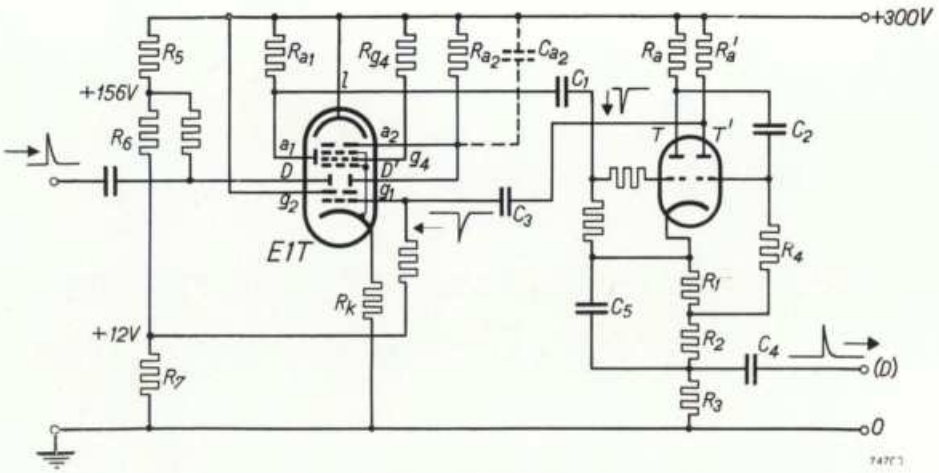


Fig. 16. Schakeling van een telbuis en de er achter komende impulsvormer. Deze laatste is een monostabiele multivibrator (flip-flap), met een dubbele triode T-T' (type E 90 CC).
Iedere tiende impuls op D brengt de bundel op a_1, wat via C_1 een negatieve impuls op het rooster van T veroorzaakt. De multivibrator slaat daardoor van de stabiele toestand (T geleidend, T' stroomloos) om in de quasi-stabiele toestand (T' geleidend, T stroomloos), maar keert na enige tijd in de stabiele toestand terug. Er worden daarbij twee impulsen geleverd: over R_3 ontstaat een positieve impuls, die wordt doorgegeven naar de volgende telbuis, en aan de anode van T' ontstaat een negatieve impuls, die op het stuurrooster (g_1) van de getekende telbuis werkt; de bundel wordt hierin dan tijdelijk onderdrukt en komt na zijn terugkeer in stand 0 te staan.
R_a anodeweerstand van T (39 000 Ω), R_a' anodeweerstand van T' (3300 Ω).

Nadere bijzonderheden blijken uit *fig. 16*, waarin de schakeling van een buizenpaar (telbuis en bijbehorende dubbele triode) is weergegeven. De buis E 90 CC vormt met een aantal weerstanden en condensatoren een zg. monostabiele multivibrator of flip-flap („one-shot multivibrator"), d.i. een multivibrator met een stabiele en een quasi-stabiele toestand. De stabiele is die waarin alleen de buishelft T stroom doorlaat. Bij een negatieve spanningsimpuls op het rooster van T wordt de buishelft T stroomloos en de andere helft, T', geleidend. Vanuit deze quasi-stabiele toestand komt de multivibrator vanzelf in de oorspronkelijke toestand terug.

De werking van de monostabiele multivibrator is als volgt. De stroom die in de stabiele toestand door T loopt, verwekt in het gedeelte R_1 van de kathodeweerstand $R_1 + R_2 + R_3$ een spanningsverval, dat voor T' als negatieve roosterspanning

aal van g' dus eveneens. De potentiaal van de kathode volgt die van g' en bereikt na enige tijd — die afhangt van $(R_a + R_1)\ C_2$ — de waarde waarbij T weer geleidend wordt. Dan daalt a in potentiaal, g' daalt mee, T' wordt stroomloos en C_2 ontlaadt zich over T. Daarmee is de stabiele toestand hersteld.

De negatieve impuls die de multivibrator in werking brengt, wordt via een koppelcondensator (C_1) ontleend aan de terugslaganode van de telbuis. Deze anode daalt immers in potentiaal wanneer ze door de bundel wordt getroffen.

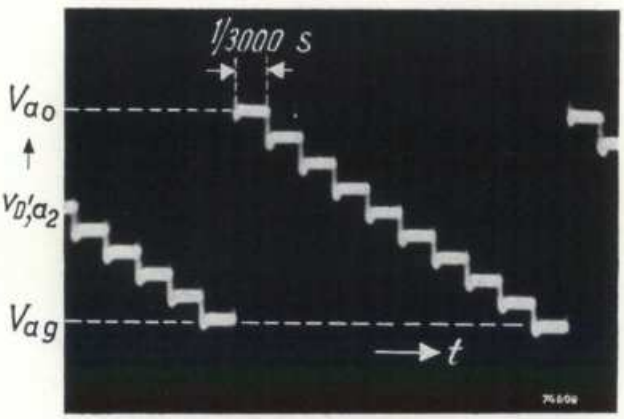
De plotselinge spanningsdaling die aan de anode van T' optreedt wanneer er stroom over T' gaat lopen, wordt gebruikt om de bundel in de telbuis tijdelijk te onderdrukken (waardoor tevens een eind komt aan de negatieve impuls die het omslaan van de multivibrator inleidde). Daartoe is de

Digitized in Heiloo the Netherlands Not for sale!

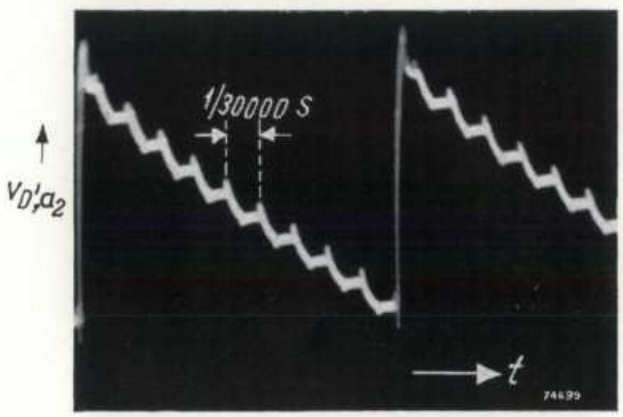
www.freeservicemanuals.info 11/14/2023

anode van T' over een condensator (C_3) gekoppeld met het stuurrooster (g_1) van de telbuis. Dit rooster heeft ten opzichte van aarde normaal een spanning van +12 V, ontleend aan een spanningsdeler (R_5-R_6-R_7) tussen de klemmen +300 V en 0. Verlaagt men de spanning van g_1 tot −15 V of nog minder, dan wordt de bundel onderdrukt.

Toen de bundel nog in stand 9 stond (en over de anode een stroom I_{a9} liep), had de anode van de telbuis een potentiaal $V_{a9} = V_B - I_{a9}R_{a2}$. Van de potentialen $V_{a0} \ldots V_{a9}$ die de anode in de standen 0-9 van de bundel heeft, is V_{a9} de laagste — zoals in de oscillogrammen *fig. 17a* en *b* is te zien —, want I_{a9} is de grootste anodestroom. Daar zich tussen de anode en de klem van +300 V de weerstand R_{a2} met parallelgeschakelde parasitaire capaciteit C_{a2} bevindt, gaat de anodepotentiaal v_{D',a_2} exponentieel oplopen zodra de anodestroom nul is geworden (doordat de bundel zich naar de terugslaganode heeft verplaatst en vervolgens onderdrukt is). De bundel moet zo lang onderdrukt blijven dat V_{D',a_2} gelegenheid krijgt op te lopen tot een waarde die hoger is dan $V_{a0} = V_B - I_{a0}R_{a2}$ (als V_{a0} en I_{a0} de anodespanning en de anodestroom zijn bij stand 0 van de bundel). Wordt nu, wanneer de negatieve impuls op de bundelplaat voorbij is, de bundel opnieuw uitgezonden, dan hebben de anode en de rechter afbuigplaat een potentiaal bereikt die hoger is dan overeenkomt met stand 0. Dientengevolge wordt de bundel bij zijn ontstaan meteen geheel naar rechts afgebogen; van daar komt hij automatisch terecht in de naburige stabiele stand, d.i. stand 0. Daarmee is de terugslag volbracht.



a



b

Fig. 17. Oscillogrammen van de anodespanning v_{D',a_2} der telbuis in fig. 16, als functie van de tijd t. *a*) is opgenomen met 3000, *b*) met 30 000 impulsen per seconde. In stand 0 is $v_{D',a_2} = V_{a0} = 240$ V, in stand 9 is $v_{D',a_2} = V_{a9} = 95$ V. Tussen 9 en 0 is de bundel onderdrukt en loopt v_{D',a_2} exponentieel op.

Van hetzelfde principe wordt gebruik gemaakt om, vóór een telling begint, alle telbuizen op 0 te zetten. Door middel van een drukknop (fig. 2) geeft men aan alle stuurroosters g_1 een negatieve spanning, waardoor de bundels worden onderdrukt en na terugkeer op 0 komen te staan. De schakeling hiervoor is in fig. 16 niet getekend.

Ten slotte nog de impuls die naar de volgende telbuis moet worden doorgegeven. Als zodanig doet dienst het spanningsverval dat over het gedeelte R_3 van de kathodeweerstand van T-T' ontstaat wanneer bij het omslaan van de multivibrator door T' een grotere stroom gaat lopen dan tevoren door T liep. Over een koppelcondensator (C_4) gaat de impuls naar de linker afbuigplaat van de volgende telbuis.

De frontsteilheid van deze impuls hangt af van de snelheid waarmee de multivibrator van de stabiele in de quasi-stabiele toestand omslaat. Bij afwezigheid van de condensator C_5 zou de sterke tegenkoppeling, veroorzaakt door de kathodeweerstand $R_1 + R_2 + R_3$, het omslaan zodanig remmen dat de impuls niet steil genoeg zou worden. Met het oog op de stabiliteit echter (ongevoeligheid voor veranderingen in de buiskarakteristiek e.d.) is een sterke tegenkoppeling onmisbaar. Deze moeilijkheid is opgelost door $R_1 + R_2$ te overbruggen door de condensator C_5, waarvan de capaciteit zo is gekozen dat voor „snelle" veranderingen alleen de kathodeweerstand R_3 werkzaam is en voor langzame de volle weerstand $R_1 + R_2 + R_3$.

Eveneens ter vergroting van de stabiliteit is de telbuis voorzien van een kathodeweerstand (R_k).

De schakeling van fig. 16 komt zeven maal in de teller van fig. 15 voor. Het is mogelijk, deze schakeling uit te voeren als een „bouwsteen", die in een buishouder kan worden geplaatst. Hiermee kunnen tellers gemakkelijk worden samengesteld. Zulk een bouwsteen ziet men in *fig. 18* [5]).

Grootte en duur van de impulsen; telsnelheid

De positieve impuls die door de impulsvormer wordt geleverd, moet voldoen aan de in het voor-

[5]) Deze eenheid wordt niet gefabriceerd.

Digitized in Heiloo the Netherlands Not for sale!

www.freeservicemanuals.info 11/14/2023

gaande geformuleerde eisen (2), (3), en (4): voldoend grote frontsteilheid, voldoende langzaam afnemen, en een amplitude van 13,6 V $\pm$ 18 %. De negatieve impuls, afgebeeld in *fig. 19*, moet groot genoeg zijn om de bundel te onderdrukken gedurende ten minste de tijd τ die v_{D',a_2} nodig heeft om van de waarde V_{a9} op te lopen tot V_{a0}, maar veel langer dan τ mag hij ook niet duren, daar dit ten koste van de telsnelheid zou gaan.

De tijd τ volgt uit deze vergelijking:

$$V_B - V_{a0} = (V_B - V_{a9})\, e^{-\tau/R_{a_2} C_{a_2}}.$$

Substitueren we hierin de volgende waarden: $V_B = 300$ V, $V_{a0} = 240$ V, $V_{a9} = 95$ V, $R_{a_2} = 1{,}05$ MΩ en $C_{a_2} = 16$ pF, dan vinden we: $\tau = 21{,}3$ μs. Om enige veiligheidsmarge te hebben, stellen we als eis dat de impuls niet korter mag duren dan 23 μs. Indien we bij de impulsduur dezelfde tolerantie ($\pm 18\%$) nemen als bij de amplitude, komen we tot een gemiddelde duur van 27,2 μs, met als grenzen 23 en 32 μs. Houden we nog 1,3 μs in reserve, dan volgt uit de langste impulsduur voor de maximale herhalingsfrequentie van de te tellen impulsen: $10^6/(32 + 1{,}3) = 30\,000$ impulsen per seconde.

Fig. 18. Een telbuis en de bijbehorende impulsvormer, geschakeld volgens fig. 16, in de vorm van een eenheid [5]), die in een buishouder kan worden geplaatst.

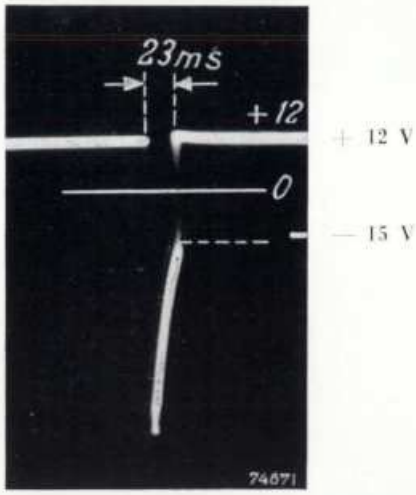


Fig. 19. Oscillogram van de negatieve impuls waarmee de impulsvormer (fig. 16) de bundel in de bijbehorende telbuis tijdelijk onderdrukt. In plaats van ms leze men μs.

Aan de voorwaarden betreffende impulsvorm, -amplitude en -duur kan worden voldaan door een geschikte keuze van de weerstands- en de capaciteitswaarden. De vraag is echter of er aan voldaan blijft wanneer deze waarden enigszins veranderen. Bij wijze van proef hebben we in de schakeling van fig. 16 tegelijk alle weerstandswaarden 2% en alle capaciteitswaarden 5% gewijzigd; de verandering had bij elke weerstand en capaciteit zodanig teken dat de invloed op het eindresultaat zo groot mogelijk was. Daarbij bleek de impulsduur 7,5% en de amplitude 8% te veranderen; beide blijven dus nog ruim binnen de tolerantie van 18%.

Impulsvormer aan de ingang

Daar de oorspronkelijke impulsen die men wil tellen, in het algemeen niet voldoen aan de gestelde eisen, moet vóór de eerste telbuis een impulsvormer worden geplaatst. Men zou wellicht verwachten dat hier de besproken multivibrator onveranderd dienst kon doen, maar een nadere beschouwing leert dat er nog iets aan moet worden toegevoegd.

De impulsvormers welke zich achter een telbuis bevinden, komen in werking door de negatieve impulsen die worden betrokken van de terugslaganode der voorafgaande telbuis (fig. 16); de duur van deze impulsen is slechts een fractie van 1 μs, veel korter dus dan de duur van de afgegeven impulsen (23 tot 32 μs). De impulsgever aan de in-

Digitized in Heiloo the Netherlands Not for sale!

www.freeservicemanuals.info 11/14/2023

gang daarentegen werkt op de oorspronkelijke impulsen, waarvan de duur, vooral bij kleine telsnelheden, langer dan 23 μs kan zijn. Een voorwaarde voor de goede werking van een multivibrator is echter dat de impuls die hem in werking stelt, korter duurt dan de afgegeven impulsen.

Deze moeilijkheid is opgelost door de oorspronkelijke impulsen te differentiëren, met behulp van een capaciteit C_d en een weerstand R_d (*fig. 20*). Heeft de oorspronkelijke impuls bijv. de vorm die in *fig. 21a* is getekend, dan ontstaat, als men R_dC_d voldoende klein heeft gekozen, over R_d een spanning die bij benadering het verloop van fig. 21*b* vertoont en gedurende een kortere tijd negatief is dan de oorspronkelijke impuls. De negatieve spanning wordt nu echter gevolgd door een positieve, die bij $t = t_2$ plotseling nul wordt. Deze sprong zou de impulsvormer opnieuw kunnen doen werken en dus abusievelijk als impuls worden meegeteld. Daarom is parallel aan R_d een germaniumdiode aangebracht (fig. 20), die belet dat de spanning over R_d positief wordt.

De ingangsimpulsvormer behoeft slechts impulsen af te geven om de eerste telbuis te doen werken. Voor deze impulsen geldt niet de voorwaarde dat hun duur groter dan τ moet zijn. Daardoor kon hier deze duur worden verkort (tot 13,5 μs).

Het zou te ver voeren, hier in te gaan op overige (kleine) verschillen tussen deze impulsvormer en de andere. Volstaan zij met het vermelden van de eisen die aan de oorspronkelijke impulsen moeten worden gesteld (voor het geval dat deze ongeveer rechthoekig van vorm zijn):

Amplitude . . . . . 20 tot 50 V,
Interval waarin het front een negatieve helling heeft . . . . . < 13,5 μs,
Tijdsverloop tussen het eind van een impuls en het begin van de volgende . . . . . ≧ 10 μs.

Aan deze voorwaarden kan in het algemeen gemakkelijk worden voldaan, en dan is, mits de waarde van de schakelelementen binnen bepaalde toleranties blijft, een telsnelheid van 30 000 impulsen per seconde met zekerheid bereikbaar.

Alle buizen E1T worden in de fabriek bij deze snelheid beproefd; daarbij worden variaties in de impulshoogte en de anodeweerstand aangebracht,

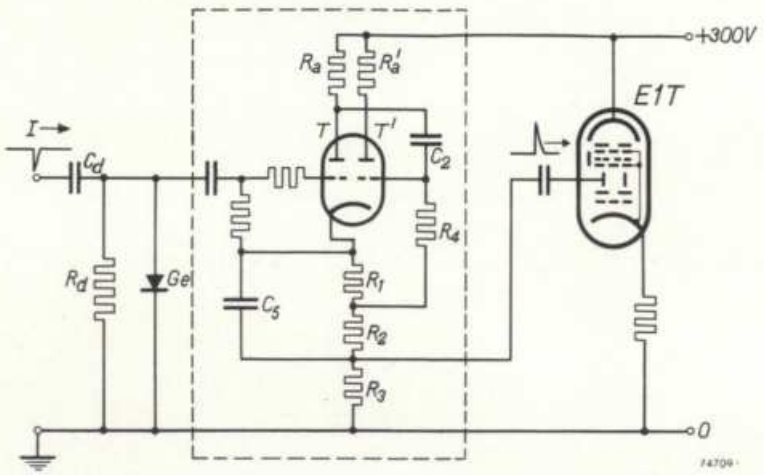


Fig. 20. Schakeling van de impulsvormer aan de ingang. *I* binnenkomende te tellen impulsen, met negatieve polariteit. C_d-R_d differentiërend netwerk. *Ge* germaniumdiode (type OA 56), die belet dat over R_d een positieve spanning optreedt. Binnen de stippellijn dezelfde schakeling als in fig. 16 is afgebeeld voor de andere impulsgevers. Rechts hiervan de eerste telbuis.

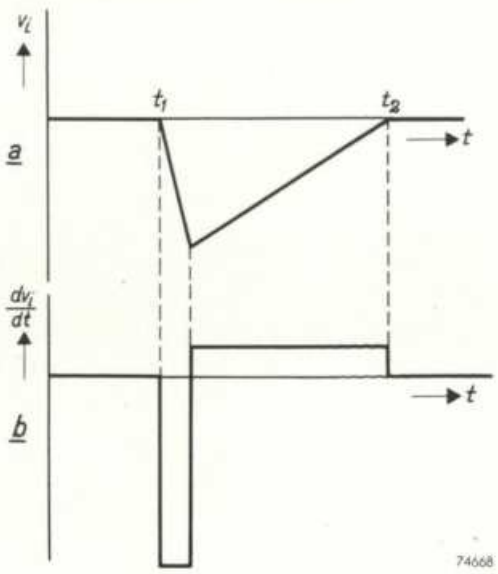


Fig. 21. Impulsvorm, *a*) van de oorspronkelijke impulsen, *b*) na differentiatie door C_d-R_d (fig. 20). Het positieve gedeelte in (*b*) wordt afgesneden door een germaniumdiode.

Digitized in Heiloo the Netherlands Not for sale!

www.freeservicemanuals.info 11/14/2023

ten einde de goede werking van de buizen in de besproken schakeling bij 30 000 impulsen per seconde te kunnen garanderen. Deze telsnelheid is echter geenszins de grootste waartoe de buis in staat is. In het laboratorium is het gelukt, telsnelheden te bereiken in de orde van 100 000 impulsen per seconde, en bij gebruik van een triode-hexode en een secundaire-emissiebuis als hulpbuizen, zelfs van millioenen impulsen per seconde [6]). Voor het bereiken van deze topprestaties waren de buizen individueel zo gunstig mogelijk ingesteld en was dus geen rekening gehouden met de onderlinge verschillen die in de fabricage nu eenmaal onvermijdelijk zijn — dit in tegenstelling tot de hierboven besproken schakeling, waarin de toleranties wèl zijn verdisconteerd.

---

[6]) Zie het laatste van de in noot [1]) aangehaalde artikelen.

Samenvatting. De decimale telbuis type E1T is zodanig ingericht dat men het aantal impulsen dat aan een telschakeling met deze buizen is toegevoerd, op de buizen zelf kan aflezen. De E1T is een kathodestraalbuis — ongeveer ter grootte van een ontvangbuis —, waarin een electronenkanon een lintvormige electronenbundel levert, met een stroom van circa 1 mA. De buis vraagt geen hogere voedingspanning dan 300 V. De bundel valt op een electrode met tien sleuven, waarachter zich een anode met tien openingen bevindt. Valt de bundel door een sleuf en een opening, dan treft hij een fluorescerende laag, die op de ballonwand is aangebracht; er ontstaat daar een lichtvlekje, en het er bij geplaatste cijfer (0...9) geeft aan, door welke van de tien sleuven de bundel valt.

Op zijn weg van kanon naar sleufelectrode loopt de bundel tussen twee afbuigplaten door. De sleuven, alsmede enige hulpopeningen in de sleufelectrode, zijn zo gedimensionneerd dat de anodestroom als functie van de afbuigspanning een reeks maxima en minima vertoont, die bij afbuiging van 0 naar 9 steeds hoger worden. Voedt men de anode en de ene afbuigplaat (die aan de kant van 0) over een gemeenschappelijke weerstand van passende waarde, dan heeft de bundel tien stabiele evenwichtstanden, corresponderend met de cijfers 0...9. Hij kan naar een volgende stand worden gebracht door een positieve impuls op de andere afbuigplaat.

Bij iedere tiende impuls komt de bundel terecht op de zg. terugslaganode. De hierop veroorzaakte spanningstoot bewerkstelligt door middel van een geschikte schakeling, dat de bundel snel terugspringt naar stand 0 en bovendien dat een impuls wordt doorgegeven naar de volgende telbuis, om daarin de bundel één stap verder te brengen. Aldus telt deze tweede buis de tientallen. Zo voortgaande, kan men een derde buis de honderdtallen doen tellen, een vierde de duizendtallen, enz.

Ter sprake komt, aan welke eisen van steilheid en amplitude de impulsen moeten voldoen. Met een schakeling die besproken wordt, kan men 30 000 impulsen per seconde tellen. Hierbij worden impulsvormers gebruikt, één vóór de eerste telbuis, ten einde de te tellen impulsen om te zetten in impulsen van de juiste vorm en grootte, en één achter iedere telbuis, om de terugslag te bewerkstelligen en een impuls aan de volgende telbuis door te geven. Alle buizen E1T worden in de fabriek met 30 000 impulsen per seconde beproefd.

Digitized in Heiloo the Netherlands Not for sale!

www.freeservicemanuals.info 11/14/2023

ULTRASNELLE MOMENTFOTOGRAFIE MET BEHULP VAN DE BEELDTRANSFORMATOR

door J. A. JENKINS *) en R. A. CHIPPENDALE *). 778.37:621.383.8

Toen door Holst en zijn medewerkers de beeldtransformator werd uitgevonden, dachten zij in hoofdzaak aan de mogelijkheid met dit toestel de fluorescentiewet van Stokes te omzeilen en derhalve infrarode beelden zichtbaar te maken. In de laatste jaren is de beeldtransformator veelvuldig voor dit doel toegepast, maar anderzijds heeft men ontdekt dat dit toestel nog andere mogelijkheden in zich bergt. Een recente en zeer elegante toepassing is die waarbij de beeldtransformator als uiterst snel werkende fotografische sluiter wordt gebruikt. Men heeft aldus momentopnamen met een belichtingstijd van minder dan 10^{-7} sec kunnen maken.

Inleiding

De grondgedachte van de beeldtransformator is de omzetting van een optisch beeld in een beeld dat wordt gevormd door electronenstralen, waarna dit laatste weer wordt teruggetransformeerd in een optisch beeld [1]). In *fig. 1* is dit schematisch voorgesteld. De eerste omzetting wordt bewerkstelligd met behulp van een halfdoorzichtige fotokathode, de tweede met behulp van een fluorescerend scherm. De electronen die van de fotokathode uitgaan, worden tot een beeld op het scherm gefocusseerd door middel van een geschikt electronenoptisch systeem, waarbij het scherm deel uitmaakt van de anode.

Dit principe is op grote schaal toegepast voor toestellen waarmee infrarode beelden voor het oog zichtbaar worden gemaakt [2]). Men maakt daarbij gebruik van het feit dat het licht dat door het fluorescerende scherm wordt uitgezonden kleinere golflengten kan hebben dan de straling van het oorspronkelijke beeld. Een andere belangrijke toepassing van hetzelfde principe is de electronische röntgenbeeldversterker [3]). Deze berust op de mogelijkheid aan de electronen door een versnellend electrisch veld energie toe te voeren. Hierdoor wordt het beeld „versterkt", terwijl bovendien de helderheid van het schermbeeld kan worden opgevoerd door met een electronenoptisch systeem te werken dat een verkleinde afbeelding levert.

De toepassing van de beeldtransformator als uiterst snelle fotografische sluiter, waarover dit artikel zal handelen, berust op nog een andere intrinsieke eigenschap van de beeldtransformator: de electronenstralen, die het tussenbeeld vormen, kunnen gemakkelijk worden bestuurd, dwz. zij kunnen worden onderdrukt of vrijgelaten of afgebogen, en bij deze stuurwerking treden practisch

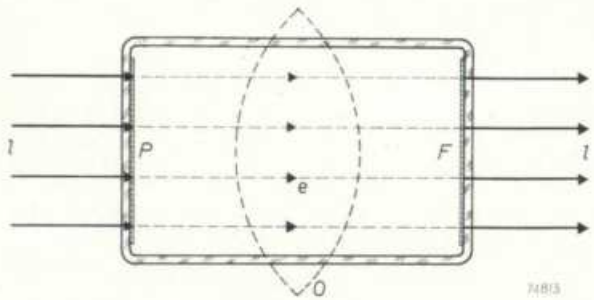


Fig. 1. Principiële bouw van een beeldtransformator. *P* fotokathode en *F* fluorescentiescherm, in een geëvacueerd vat; *l* lichtstralen, *e* electronenstralen; *O* stelt symbolisch een electronenoptisch systeem voor.

geen vertragingseffecten op. Met een beeldtransformatorbuis die speciaal voor dit doel in de laboratoria van Mullard werd ontwikkeld, de ME 1201 (*fig. 2*), zijn zodoende reeds opnamen gemaakt met belichtingstijden van ca. $3 \cdot 10^{-8}$ sec.

Ter vergelijking zij vermeld dat electronische flitslampen lichtflitsen leveren met een duur tussen ongeveer $2 \cdot 10^{-4}$ en $2 \cdot 10^{-6}$ sec (2 μsec). Een flitsduur van 2 μsec verkrijgt men met de LSD2, de snelste van de serie electronenflitsbuizen van Mullard [4]). Deze flitsduur is korter dan wat de amateur- of vakfotograaf zelfs voor zijn snelste momentopnamen zal eisen. Bij het wetenschappelijke of

*) Mullard Research Laboratories, Salfords, Engeland.

[1]) G. Holst, J. H. de Boer, M. C. Teves en C. F. Veenemans, An apparatus for the transformation of light of long wavelength into light of short wavelength, Physica **I**, 297-305, 1934.

[2]) Zie bijv.: T. H. Pratt, Electronic Eng. **20**, 274, 314, 1948.

[3]) Zie bijv.: M. C. Teves en T. Tol, Electronische versterking van röntgenbeelden, Philips techn. T. **14**, 65-75, 1952 (No. 3).

[4]) G. Knott, High-intensity flash-tubes, Photographic J. **89B**, 46-50, 1949.

Digitized in Heiloo the Netherlands Not for sale!

www.freeservicemanuals.info 11/14/2023

Fig. 2. De Mullard beeldtransformator ME1201.

technische speurwerk daarentegen heeft men vaak met gebeurtenissen te maken die zo snel verlopen dat men, als men ze in scherpe beelden fotografisch wil vasthouden, belichtingstijden van de genoemde orde nodig heeft. Enkele voorbeelden zijn: het gedrag van projectielen die op obstakels treffen, trillingen en breuk van rotoren bij zeer grote omwentelingsnelheden, de brandstofinspuiting bij hogedrukstraalmotoren, de spanningsverdeling in modellen onder dynamische belasting enz. Voor sommige van deze gevallen zal de genoemde flitsduur van de LSD2 zelfs nog te lang zijn. In andere gevallen, zoals bij het bestuderen van verbrandingsprocessen, vonken en ontladingsverschijnselen, het ontploffen van explosiefstoffen, enz., zenden de te fotograferen voorwerpen zelf licht uit. In zulke gevallen kan men het fotografische probleem uiteraard niet door verlichting met een zeer kort durende lichtflits oplossen, maar is men al dadelijk aangewezen op een zeer snel werkende sluiter, die belichtingstijden toelaat veel korter dan de periode van lichtuitzending van het te onderzoeken verschijnsel. De opname moet in dat geval met behulp van een synchronisatiemethode worden gemaakt, die in principe analoog is aan de bekende synchronisatie die men bij normale flitslampen en normale fotografische sluiters toepast, echter met dit verschil dat thans uiterst korte vertragingstijden en ontstekingstijden vereist zijn. Voor dit doel heeft men speciale synchronisatieschakelingen ontwikkeld, die werken met waterstofthyratrons.

In dit artikel zal een korte beschrijving van de ontwikkeling van de bovengenoemde beeldtransformator ME1201 en van enige bijbehorende synchronisatieschakelingen worden gegeven [5]).

De opstelling

De opstelling die dient om de beeldtransformator als fotografische sluiter te laten werken, is schematisch in *fig. 3* weergegeven. Door een lichtsterke fotografische lens, zoals die in moderne kleinbeeldcamera's wordt gebruikt, wordt een scherp en helder beeld van het te fotograferen object ontworpen op de fotokathode van de beeldtransformatorbuis. Aan de andere zijde van deze buis is een camera opgesteld die geschikt is voor reproductiewerk, dwz. waarmee kleine voorwerpen ongeveer op schaal 1 : 1 kunnen worden opgenomen. Deze camera is permanent ingesteld op het fluorescentiescherm. In fig. 3 zijn eveneens de onderdelen van de synchronisatieschakeling aangegeven, die met de beeldtransformator zijn verbonden en die ervoor zorgen dat het electronenbeeld alleen wordt doorgelaten gedurende een bepaald zeer kort tijdsinterval, dat met het te onderzoeken verschijnsel wordt gesynchroniseerd. In gevallen waarin het te fotograferen object niet

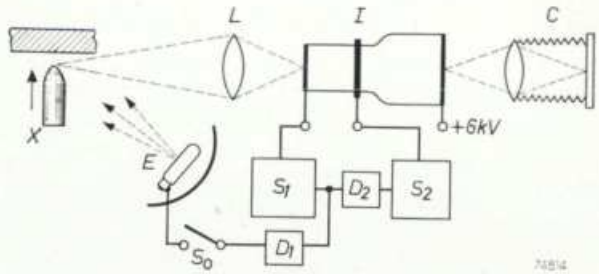


Fig. 3. Opstelling voor toepassing van de beeldtransformator als snelle fotografische sluiter. *X* te fotograferen object, *E* lichtbron, *L* lens, *I* beeldtransformator, *C* fototoestel dat permanent op het scherm van *I* is ingesteld. De lichtbron en de beeldtransformator worden op de juiste tijdstippen ontstoken resp. bestuurd door middel van de „schakelaars" en vertragingselementen S_0, S_1, S_2 en D_1, D_2.

[5]) Een uitvoerig verslag is door de schrijvers reeds gepubliceerd in J. Brit. Inst. Radio Engrs. **11**, 505-517, 1951 (Nov.). Zie verder: Electronic Eng. **24**, 302-307, 1952 (Juli), en Photographic J. **92B**, 149-157, 1952 (Sept.-Oct.). De schakelingen die men voor het besturen van de beeldtransformator kan toepassen, zijn uitvoerig besproken door M. S. Richards, An industrial instrument for the observation of very-high-speed phenomena, J. Inst. El. Engrs., in druk.

Er moge hier worden vermeld dat de gedachte om de beeldtransformator als sluiter voor snelle momentopnamen te gebruiken, het eerst geopperd schijnt te zijn door R. T. Bayne, die reeds in 1943 octrooi hierop aanvroeg (U.S. patent No. 2421182, van 27 Mei 1947). Verscheidene onderzoekers kwamen onafhankelijk tot een soortgelijke werkwijze, waarbij wij J. S. Courtney-Pratt (Research **2**, 287, 1949) als een der meest vooraanstaanden willen noemen.

Digitized in Heiloo the Netherlands Not for sale!

www.freeservicemanuals.info 11/14/2023

zelf licht uitzendt, doch bijv. door een electronenflitsbuis wordt verlicht, moet de schakeling tevens deze lichtbron tegelijk met het te onderzoeken verschijnsel in werking stellen.

Het eerste gedeelte van dit artikel zal alleen handelen over afzonderlijke momentopnamen. Om een aantal opnamen snel na elkaar te maken, kan men op verschillende wijzen te werk gaan. De interessante problemen en mogelijkheden die zich hierbij voordoen, zullen wij in het laatste gedeelte van dit artikel in het kort aanstippen.

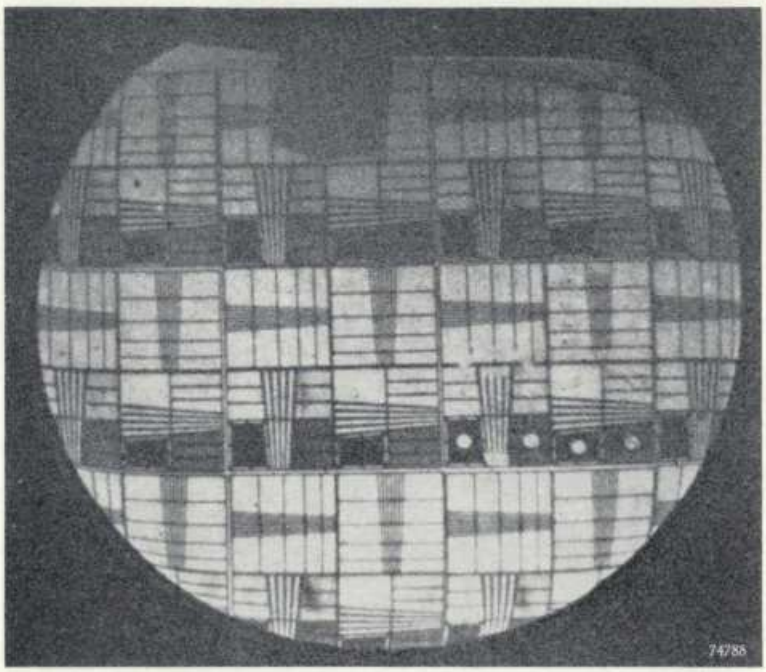


Fig. 4. Foto van een testplaat, genomen van het fluorescentiescherm van de beeldtransformator ME1201 met een belichtingstijd van $2 \cdot 10^{-7}$ sec.

Fig. 4 moge dienen ter illustratie van de beeldkwaliteit die met de te beschrijven apparatuur kan worden verkregen bij een momentopname met een belichtingstijd van $2 \cdot 10^{-7}$ sec.

Constructie van de beeldtransformatorbuis ME1201

Het rooster

Bij het ontwerp van een beeldtransformator voor het beschreven doel kwam het in de eerste plaats er op aan traagheidseffecten te vermijden en de bestuurbaarheid te bevorderen. Bij de eerste experimenten, die werden uitgevoerd met normale bestaande beeldtransformatorbuizen, werden deze bestuurd door gebruik te maken van een impulsvormige anodespanning van de vereiste hoge waarde (gewoonlijk tussen 6 en 12 kV). Een gemakkelijker en sneller besturing wordt mogelijk indien men in de buis een extra electrode aanbrengt, welke als rooster met een goede stuurkarakteristiek werkt. Dit is bij de ME1201 gedaan (*fig. 5*). De buisstroom wordt onderbroken door aan het rooster een potentiaal van —60 volt ten opzichte van de kathode te geven, en de buis wordt in werking gesteld door aan het rooster een spanningstoot van bijv. 2 of 3 kV toe te voeren. Tijdens de opname staat het fluorescentiescherm (de anode) op een spanning van 6 kV ten opzichte van de kathode.

Een zo hoge roosterspanning is noodzakelijk om aan het oppervlak van de fotokathode een electrische veldsterkte op te wekken waarbij de maximale electronenemissie wordt verkregen (opheffing van de invloed van ruimtelading). Tevens vormt dit electrische veld tezamen met een constant magnetisch veld, dat door de in *fig. 6* aangegeven focusseerspoel wordt opgewekt, het electronenoptische systeem, dat het electronenbeeld op het fluorescentiescherm afbeeldt. Dit systeem, waaraan een goede scherpte en een geringe vervorming van

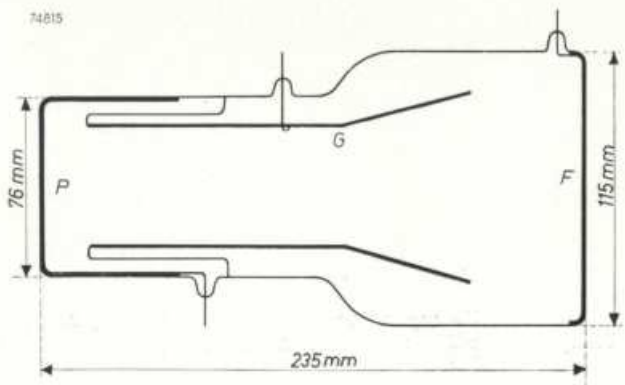


Fig. 5. Doorsnede van de ME1201. *P* fotokathode, *F* fluorescentiescherm, *G* roosterelectrode. De laatste wordt gevormd door een aluminiumlaagje op een glazen cylinder, die door een inwendige plooi in het vat gedragen wordt. Nabij *P* en *F* is de binnenwand van het vat gemetalliseerd, om de fotokathode en het, van een metaallaagje voorziene, scherm met de kathode resp. anode te verbinden. Het vat is gedeeltelijk ook van buiten met een metaallaag bedekt, die met de kathode verbonden is. Hierdoor worden inwendige wandladingen bestreden, welke aanleiding kunnen geven tot ongewenste signalen.

Digitized in Heiloo the Netherlands Not for sale!

www.freeservicemanuals.info 11/14/2023

het verkregen beeld eigen zijn, lijkt op het systeem dat wordt toegepast bij de beeldiconoscoop, d.i. een televisieopneembuis die niet lang geleden in

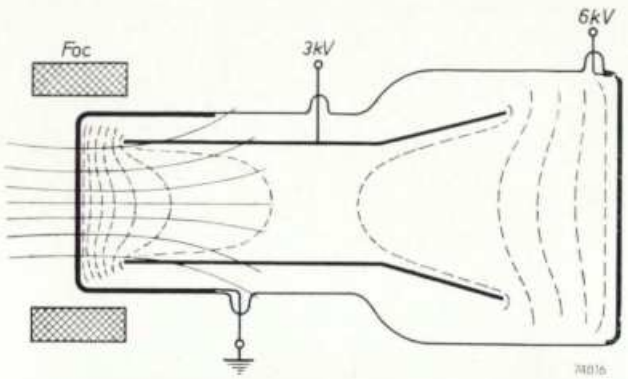


Fig. 6. Electronenoptisch systeem van de ME1201. De focusseerspoel *Foc* produceert een magnetisch veld, waarvan de krachtlijnen door dunne lijnen zijn aangegeven. De roosteren de anodespanning produceren een electrisch veld, waarvan de aequipotentiaalvlakken door gestippelde lijnen zijn aangeduid.

dit tijdschrift is beschreven [6]). Het electronenoptische systeem zal dadelijk nader worden beschouwd, doch wij willen eerst dieper ingaan op de fotokathode en het fluorescentiescherm.

De fotokathode

De halfdoorzichtige fotokathode is een caesium-antimoniumkathode. Dit kathodetype wordt ook in de beeldiconoscoop en bijv. in multiplicatorbuizen toegepast. Er dient echter op te worden gewezen dat kathodes van dit type die volgens gebruikelijke fabricagemethodes waren vervaardigd, voor ons

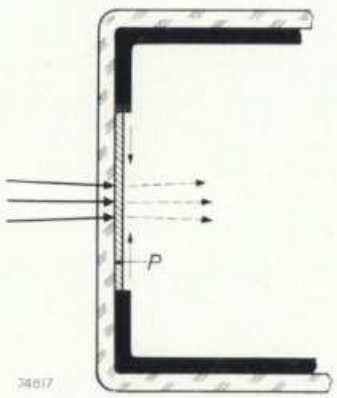


Fig. 7. Het nuttige gedeelte van de fotokathode *P* moet zeer dun zijn (halfdoorzichtig) om het licht tot het binnenoppervlak te laten doordringen, waar de foto-electronen het metaal moeten verlaten (gestippelde pijlen). Om deze electronen uit de omgevende ringvormige electrode aan te vullen, moet de fotokathode een stroom parallel aan haar oppervlak geleiden (dunne pijlen). Voor het verkrijgen van behoorlijke negatiefzwartingen met een belichtingstijd van 10^{-7} sec moeten stromen met piekwaarden van tientallen milliampères door de kathode geleverd worden.

[6]) P. Schagen, H. Bruining en J. C. Francken, Philips techn. T. **13**, 71-85, 1951 (No. 3).

doel volkomen onbruikbaar bleken te zijn: tracht men met een dergelijke kathode de ontlading van een snelle electronenflitsbuis als bijv. de LSD2 te fotograferen, dan krijgt men op het fluorescerende scherm van de beeldtransformator in het geheel geen beeld te zien. Dit is daaraan te wijten dat de kathode niet in staat is in zo korte tijd het vereiste grote aantal electronen van het ringvormige omgevende metaallaagje naar de centrale gedeelten te geleiden, waarop de sterke belichting plaats vindt en van waar de electronen moeten worden geëmitteerd (*fig. 7*). Met andere woorden, de oppervlakte-

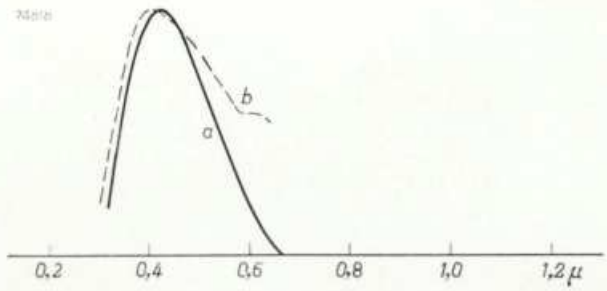


Fig. 8. *a*) Spectrale gevoeligheidskromme van een caesium-antimoniumfotokathode met kleine oppervlakteweerstand. *b*) Relatieve spectrale energieverdeling van de electronenflitsbuis LSD2.

weerstand is te hoog; hij bedraagt bij de gebruikelijke kathodes enige megohms per vierkant [7]). Wij hebben derhalve een speciale caesium-antimoniumkathode ontwikkeld, waarbij de oppervlakteweerstand tot slechts enkele honderden ohms per vierkant is teruggebracht. Het verminderen van de oppervlakteweerstand gaat wel enigszins ten koste van de gevoeligheid van de fotokathode. De gevoeligheid bedraagt nu 20 μA per lumen voor gloeilampenlicht (van 2700 °K), tegenover waarden van 45 of zelfs 60 μA per lumen die men met de gebruikelijke caesium-antimoniumfotokathodes heeft kunnen bereiken.

De spectrale gevoeligheidskromme van de nieuw ontwikkelde caesium-antimoniumfotokathode is in *fig. 8* weergegeven. Afgezien van een geringe verschuiving naar het blauw, lijkt de kromme op de spectrale ooggevoeligheidskromme. Deze gevoeligheidskromme is buitengewoon geschikt voor het fotograferen van voorwerpen die met een electronenflitsbuis LSD2 worden verlicht. Dit blijkt uit de spectrale energieverdeling van de laatstgenoemde (*b* in fig. 8). Bij gebruik van andere lichtbronnen kan men andere fotokathodes nemen,

[7]) De oppervlakteweerstand van een laag met gegeven soortelijke weerstand en dikte hangt alleen van de vorm van het geleidende oppervlak af, niet van zijn uitgestrektheid.

Digitized in Heiloo the Netherlands Not for sale!

www.freeservicemanuals.info 11/14/2023

bijv. de welbekende Ag-O-Cs-kathode, die gevoelig is voor infrarode straling, of een combinatie van een dezer kathodes met een fosfor die voor ultraviolette straling of voor röntgenstraling gevoelig is.

Het fluorescentiescherm

Het fluorescentiescherm van de ME1201 wordt in de meeste gevallen van zinksulfide gemaakt. Een ander materiaal dat in aanmerking komt, is willemiet (Zn_2SiO_4). Bij beschieting met electronen van 6 kV straalt zinksulfide ongeveer 3× zoveel energie uit als willemiet. Bovendien is de spectrale verdeling van de straling die door het zinksulfidescherm wordt uitgezonden, beter afgestemd op de gevoeligheidskromme van de zeer gevoelige fotografische emulsies die voor dit werk moeten worden gebruikt (verg. *fig. 9*). Door een en ander is zinksulfide fotografisch 5× zo werkzaam als willemiet en het verdient dus in het algemeen de voorkeur. Een ander verschil tussen de twee genoemde stoffen is de langere nalichttijd die het willemietscherm in het algemeen vertoont. Merkwaardig genoeg kan het langere nalichten voor afzonderlijke momentopnamen als een voordeel worden beschouwd. Immers, het licht dat nog een lange tijd na afsnijding van de electronen, welke de informatie van het beeld overbrengen, wordt uitgezonden, veroorzaakt geen onscherpte, en in werkelijkheid komt dit licht zelfs zeer gelegen om een zo groot mogelijke zwarting van het negatief te verkrijgen, aangezien de gevoeligheid van alle emulsies bij zeer korte belichtingstijden daalt (Schwarzschild-effect). Wil men echter een reeks opnamen met korte tussenpozen maken, dan is een korte nalichttijd van essentieel belang, om te vermijden dat iedere opname door de voorafgaande wordt gestoord. Door aan een zinksulfidefosfor nikkel als doofmiddel toe te voegen, heeft men de nalichttijd tot 10 μsec kunnen beperken (daling tot 25% van de topintensiteit).

Het rendement van het fluorescentiescherm wordt aanzienlijk verbeterd door een aluminiumlaag („schermspiegel"), die op de gebruikelijke wijze [8]) op de achterzijde van het scherm wordt aangebracht en die het grootste gedeelte van het licht dat naar achteren wordt uitgestraald en dus verloren zou gaan, naar voren reflecteert. Tevens is dit gedeelte van het uitgestraalde licht nu niet meer in staat de fotokathode te treffen en hieruit extra electronen vrij te maken, die een storende sluier in het fluorescentiebeeld zouden veroorzaken. In ons speciale geval vervult de schermspiegel nog twee andere functies, die eveneens van grote betekenis zijn. Ten eerste beschermt het metaallaagje de fosfor tegen aantasting door de caesiumdamp, die bij de vervaardiging van de fotokathode in de buis aanwezig is. Ten tweede zorgt het laagje dat het fluorescentiescherm niet kan worden verlicht door het licht dat door de fotokathode wordt doorgelaten. Dit is een conditio sine qua non, aangezien zulk een verlichting in staat zou zijn de te maken opnamen geheel te bederven (het oorspronkelijke licht en het fluorescentielicht hebben immers bij deze toepassing van de beeldtransformator in het algemeen ongeveer dezelfde golflengte). Zelfs met het metaallaagje is dit effect niet gemakkelijk volledig te onderdrukken, aangezien het metaallaagje dun genoeg moet zijn om practisch alle electronen van 6 kV door te laten. Bij het aanbrengen van het aluminiumlaagje moet zeer zorgvuldig te werk worden gegaan om te vermijden dat daarbij sommige gedeelten al te doorzichtig voor het licht worden.

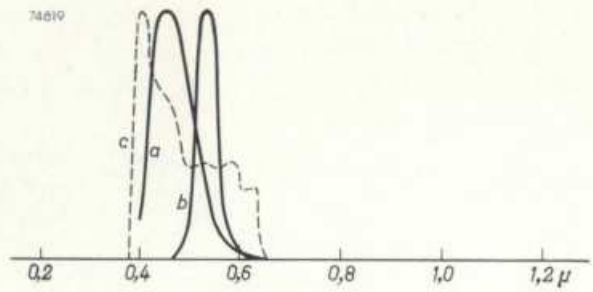


Fig. 9. *a*) Relatieve spectrale energieverdeling van de fluorescentie, typisch voor een zinksulfidescherm.
b) Hetzelfde voor een willemietscherm.
c) Spectrale gevoeligheid van een snelle panchromatische film.

Zowel willemiet als zinksulfide kan men in de vorm van een zeer fijnkorrelig scherm aanbrengen, dat een scheidend vermogen van 50 lijnen per mm kan bezitten [9]). Dit is voldoende om zeker te zijn dat de prestatie van de beeldtransformatorbuis in de meeste gevallen niet door het scheidend vermogen van het scherm zal worden beperkt. In de volgende paragrafen zal dit duidelijk worden.

Het electronenoptische systeem

Er is reeds vermeld dat het electronenoptische systeem bestaat uit een magnetisch veld, dat wordt opgewekt door een spoel rondom het kathodegedeelte van de buis, en uit een electrisch veld, dat wordt opgewekt door de rooster- en de anodespanning. In feite dient het electrische veld tussen het

[8]) Zie bijv. in ditzelfde nummer: A. Bril en H. A. Klasens, Het rendement van de fluorescentie van kathodestraalbuizen, Philips techn. T. **14**, 378-387, 1952 (No. 12).

[9]) D.i. een raster met 25 zwarte en 25 witte lijnen per mm. In de televisie is het gebruikelijk dit als 50 lijnen/mm te betitelen, terwijl men volgens de normale fotografische terminologie van 25 lijnen/mm zou spreken.

Digitized in Heiloo the Netherlands Not for sale!

www.freeservicemanuals.info 11/14/2023

rooster en de anode als een afzonderlijke, electrostatische, lens te worden beschouwd; voorlopig echter kunnen we dit buiten beschouwing laten. Het electronenoptische systeem levert op het fluorescentiescherm een afbeelding van de fotokathode met een ongeveer viervoudige vergroting en met een beelddraaiing van ca. 20°. De draaiing, die bij alle magnetische electronenlenzen optreedt, doet er in ons geval niet toe.

Het door combinatie van een magnetisch en een electrisch veld verkregen electronenoptische systeem heeft de belangrijke eigenschap dat van een vlakke fotokathode een vrijwel vlak beeld wordt verkregen. Dit vereenvoudigt de vervaardiging van de buis en maakt het mogelijk normale fotografische optieken aan beide zijden in de opstelling te gebruiken.

De vervorming van de afbeelding blijkt in sterke mate af te hangen van de absolute waarde zowel van de magnetische als van de electrische veldsterkten. Van belang zijn hier vooral de kussenvormige vertekening en de S-vervorming. De laatste is typisch voor alle magnetische electronenoptische systemen (zie noot [6]). Beide vertekeningen zijn evenredig met d^3, indien d de diameter van het nuttig gebruikte gedeelte van de fotokathode is. De grote invloed van de electrische veldsterkte ter plaatse van de kathode wordt gedemonstreerd door de reeks opnamen in *fig. 10*, die met verschillende waarden van de roosterspanning V_g gemaakt zijn. Men ziet, dat bij een kathodediameter $d \approx 2^1/_2$ cm, die in de ME1201 wordt gebruikt, de S-vervorming en andere vertekeningen verwaarloosbaar worden zodra V_g groter dan ongeveer 2,5 kV is.

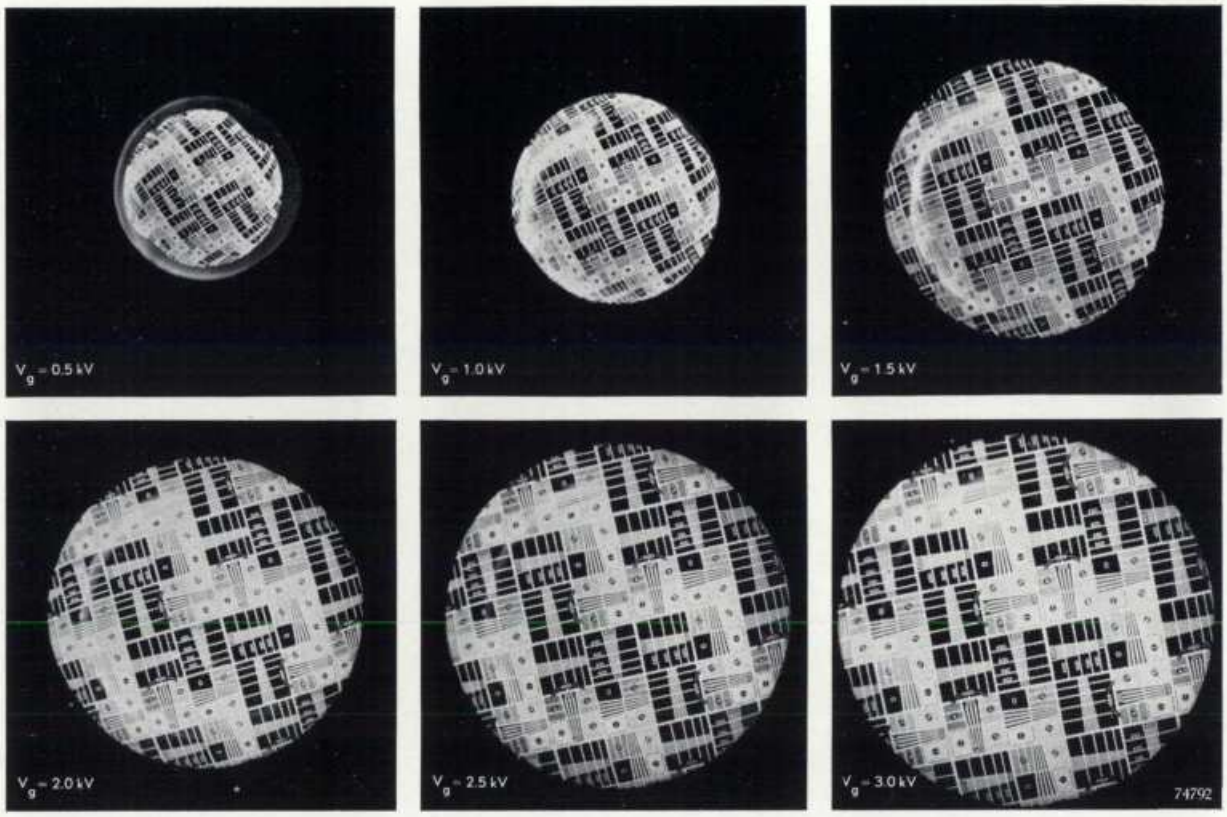


Fig. 10. Statische foto's, genomen van het scherm van de ME1201 bij een anodespanning van 6 kV en verschillende waarden van de roosterspanning V_g. Bij lage roosterspanningen is het beeld met S-distorsie en andere vervormingen behept.

Er zij op gewezen, dat voor iedere waarde van V_g (en V_a) de stroom door de focusseerspoel opnieuw moet worden ingesteld, ten einde een scherp beeld op het fluorescentiescherm te verkrijgen. Opmerkelijk is dat men dit voor iedere waarde van V_g kan bereiken met verschillende discrete waarden van de stroomsterkte. De bijbehorende afbeeldingen nemen met toenemende stroom in grootte toe. De afbeelding die bij de kleinste stroomsterkte wordt verkregen („eerste focus") is met een aanzienlijke vertekening behept. De opnamen in fig. 10 zijn met het tweede of derde focus gemaakt, dat ook normaal wordt gebruikt en waarvoor de genoemde waarden van de vergroting en de beelddraaiing gelden.

Digitized in Heiloo the Netherlands Not for sale!

www.freeservicemanuals.info 11/14/2023

Het optreden van verschillende foci is te begrijpen aan de hand van de wiskundige behandeling die Francken en Dorrestein [10]) voor de beeldvorming in de beeldiconoscoop hebben gegeven. Hun resultaten kunnen voor ons doel als volgt worden samengevat. De banen van alle electronen die met verschillende radiale en/of tangentiële snelheden uit één punt van de fotokathode worden geëmitteerd, snijden elkaar in één punt op afstand z_0 van de kathode. De waarde z_0 blijkt voor de electronenbundels die van alle punten van de kathode uitgaan, dezelfde te zijn; met andere woorden, op de afstand z_0 wordt een beeld van de kathode gevormd. Ten einde z_0 te berekenen, beschouwt men de electronenbundel die uit het middelpunt van de fotokathode komt. De stralen hiervan snijden elkaar op de as van het systeem. Afgezien van een draaiing, die we hier buiten beschouwing kunnen laten, wordt de baan van een electron dat met een aanvankelijke radiale energie ε_r vertrekt, gegeven door de functie:

$$r = 2 \left| \frac{\varepsilon_r}{eF} \right| r_2(z).$$

Hierin is r de radiale afwijking van de as, F de electrische veldsterkte in het midden van de fotokathode, e de elementaire lading en $r_2(z)$ een functie die van het magnetische en het electrische veld afhangt. *Fig. 11b* geeft de baan $r(z)$ weer

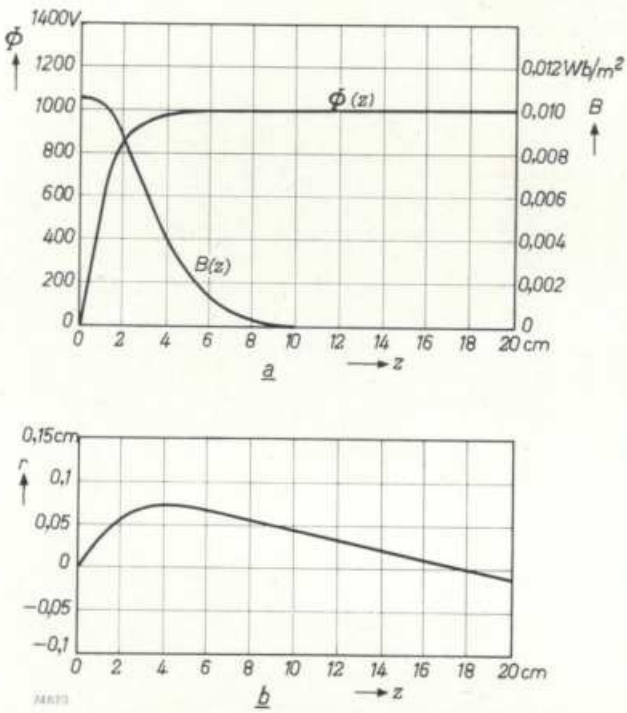


Fig. 11. *a*) Magnetische inductie B en electrische potentiaal Φ op de as (z-richting) van een beeldiconoscoop volgens de beschrijving in de artikelen [6]) en [10]). Het verloop van de (rotatiesymmetrische) velden is analoog aan dat in de beeldtransformator ME1201.
b) Baan van een electron dat uit het middelpunt van de fotokathode wordt geëmitteerd, berekend door Francken en Dorrestein [10]) voor de in (*a*) weergegeven magnetische en electrische velden. De aanvankelijke radiale energie van dit electron is $\varepsilon_r = 0{,}65$ V; voor andere waarden van ε_r krijgt men evenredige radiale uitwijkingen $r(z)$, zodat alle uit het middelpunt vertrekkende electronen in het punt z_0 weer door de as gaan.

[10]) J. C. Francken en R. Dorrestein, Paraxial image formation in the "magnetic" image iconoscope, Philips Research Reports **6**, 323-346, 1951 (No. 5).

die voor een bepaald geval werd berekend, nl. voor een magnetisch en een electrisch veld zoals worden toegepast in de beeldiconoscoop (fig. 11*a*) en voor een practisch voorkomende waarde van de beginenergie ε_r. Valt het nulpunt z_0 van $r_2(z)$ binnen het gebied van het magnetische veld en is dit veld voldoende sterk, dan kunnen de stralen naar de as teruggebogen worden en er kunnen verdere nulpunten van $r_2(z)$ optreden: er worden dan verscheidene beelden gevormd. Dit is klaarblijkelijk bij ons het geval. Voert men de sterkte van het magnetische veld op, dan worden de stralen $r(z)$ sterker gekromd, alle beelden worden dichter bij de fotokathode getrokken en de beelden komen het een na het ander in het (vaste) vlak van het fluorescentiescherm te liggen.

Door Francken en Dorrestein werd verder aangetoond (formule 62d van hun artikel) dat de vergroting van het beeld omgekeerd evenredig is met de helling van $r_2(z)$ in het eindpunt, dwz. ter plaatse van het beschouwde focus (z_0,...). Deze helling neemt met toenemend rangnummer van het focus af, ook als de focusafstand telkens teruggebracht wordt tot de (vaste) lengte van de buis. Aldus is de toenemende beeldgrootte voor de opeenvolgende foci te begrijpen.

De scherpte van de electronenoptische afbeelding op het fluorescentiescherm wordt sterk beïnvloed door variaties van de magnetische en de electrische veldsterkten. Zowel de rooster- en de anodespanning als de spoelstroomsterkte moet zorgvuldig worden gestabiliseerd indien men de grootste mogelijke scherpte, die beantwoordt aan het scheidend vermogen van het fluorescentiescherm, wil realiseren. *Fig. 12* moge illustreren, welk scheidend vermogen op deze wijze met het electronenoptische systeem kan worden verkregen. Deze figuur is een reproductie van een statisch opgenomen beeld. Maakt men momentopnamen van de orde van een microseconde, dan zal een onvoldoende stabilisatie natuurlijk niet binnen de zeer korte belichtingstijd haar invloed doen gelden. Daar echter de scherpstelling geschiedt door vóór de eigenlijke opname een statisch beeld van het object te ontwerpen en te bekijken en aan de hand hiervan de anode- en de roosterspanning en de spoelstroomsterkte in te stellen, brengt elke variatie van de ingestelde waarden in de tussentijd tot de opname een verlies aan scherpte mee. Speciaal de roosterspanning luistert zeer nauw, aangezien deze van invloed is zowel op het electronenoptische systeem dat door de combinatie van magnetisch en electrisch veld wordt gevormd, alsook (in geringere mate) op de electronenlens die wordt gevormd door het electrische veld tussen rooster en anode; de verschuiving van het brandpunt die het gevolg is van een roosterspanningsvariatie heeft voor de beide lenzen dezelfde richting. Het blijkt echter dat bij een rimpel van 1% in de rooster- en de anodespanning en in de spoelstroomsterkte, op het fluorescentiescherm nog 20 lijnen per mm kunnen worden gescheiden. Dit zal voor vele practische doeleinden

Digitized in Heiloo the Netherlands Not for sale!

www.freeservicemanuals.info 11/14/2023

voldoende zijn. Het betekent immers, bij een diameter van ca. 10 cm van het fluorescentiebeeld, een totaal aantal van 2000 lijnen per beeld. Dit aantal (de overgebrachte „informatie") is dan 4 of 5 maal zo groot als in een televisiebeeld volgens Amerikaanse of Engelse norm.

nog geringere vergrotingen zijn andere buizen ontworpen. Met een van onze nieuwste buizen — die nog niet geregeld kan worden geleverd — kan men een verkleining tot een factor $^3/_4$ realiseren; het fluorescentiebeeld is dan ceteris paribus 16× zo helder als bij de ME1201 in normaal gebruik. Er dient echter

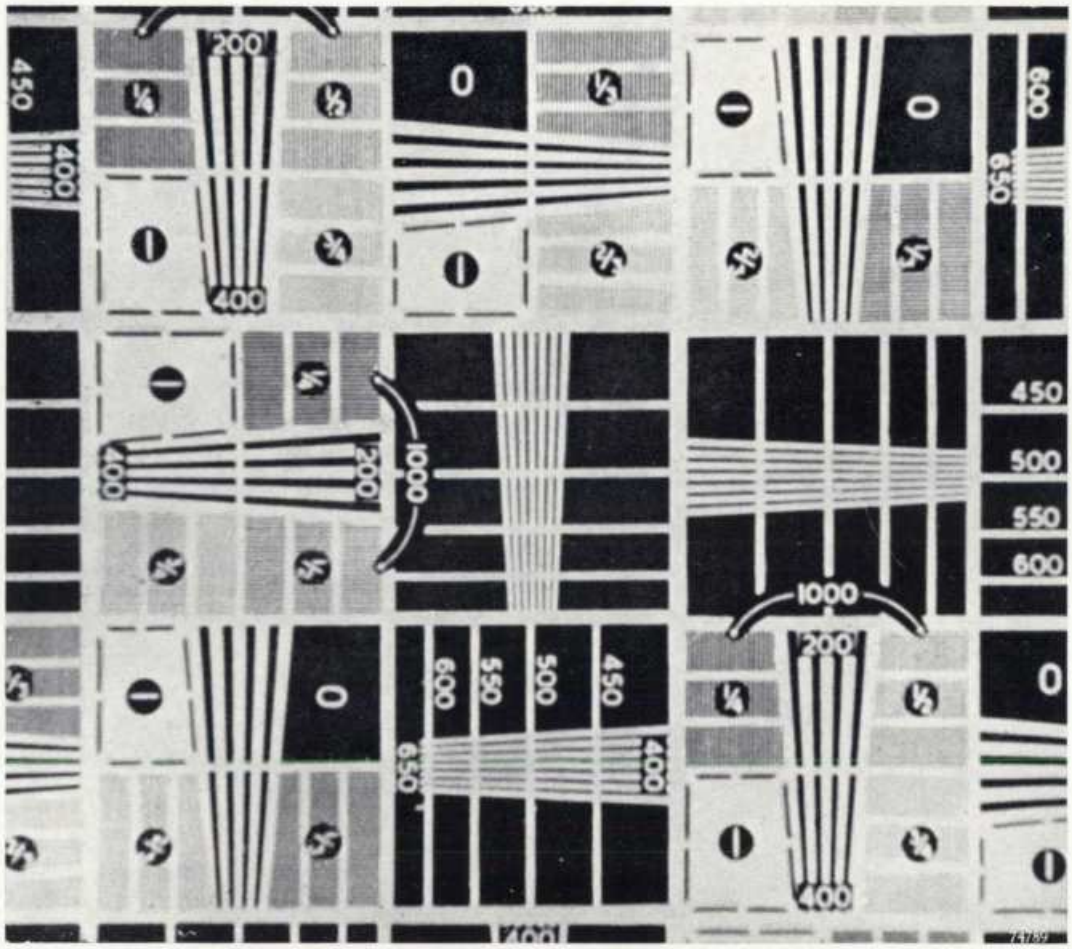


Fig. 12. Statische foto van testplaat, genomen van het middelste gedeelte van het scherm van de beeldtransformator ME1201, ter demonstratie van het maximaal verkrijgbare scheidende vermogen. (Ongeveer 3× ware grootte van het fluorescentiebeeld.) De invloed van fluctuaties in de rooster- en de anodespanning en in de spoelstroom was hierbij uitgeschakeld, en de foto werd op een zeer fijnkorrelige film opgenomen.

Boven is gezegd dat het electronenoptische systeem met de normaal gebruikte focusseerspoel een lineaire vergroting van ongeveer 4× levert. Aangezien vrijwel alle door het nuttige deel der fotokathode geëmitteerde electronen in het beeld op het fluorescentiescherm terechtkomen, zal de schermhelderheid omgekeerd evenredig zijn met het kwadraat van de vergroting. In gevallen waar men een tekort aan licht heeft, kan dus een geringere vergroting of zelfs een verkleining gewenst zijn (verg. het in [2]) aangehaalde artikel). Met behulp van andere focusseerspoelen zijn andere vergrotingen te verkrijgen, variërend van 7× tot 2×. Voor op te worden gewezen dat in gevallen waar men niet in lichtnood is, een electronenoptische vergroting, zoals in de ME1201 wordt toegepast, belangrijke voordelen biedt [11]). Een geringere vergroting betekent bijna onvermijdelijk een kleiner beeld op het fluorescentiescherm, aangezien het zeer moeilijk is de nuttige oppervlakte van de fotokathode groter te maken zonder een overmatige vertekening in de electronenoptische afbeelding te doen optreden — nog daargelaten de moeilijkheid om in een grote

[11]) Zie ook: J. S. Courtney-Pratt, Image converter tubes and their application to high speed photography, Photographic J. **92B**, 137-148, 1952 (Sept.-Oct.).

Digitized in Heiloo the Netherlands Not for sale!

www.freeservicemanuals.info 11/14/2023

fotokathode plaatselijke gevoeligheidsverschillen te vermijden. Het kleinere schermbeeld echter, waarin men dus vervalt, zal onvermijdelijk de korrel van het scherm meer op de voorgrond doen treden, waardoor het uiteindelijke scheidende vermogen van de methode moet lijden. Dit gezichtspunt is vooral van belang voor een werkwijze voor het opnemen van beeldreeksen, die aan het einde van dit artikel zal worden beschreven. Het scherpteverlies kan wel gedeeltelijk weer worden goedgemaakt bij de fotografische registratie. Immers, zolang men met een tekort aan licht te kampen heeft, moet men voor het fotograferen van het schermbeeld uiterst gevoelige films gebruiken, zodanig dat het scheidend vermogen door de filmkorrel wordt begrensd. Wordt de helderheid van het schermbeeld aanzienlijk opgevoerd, dan kan men films met fijnere korrel en geringere gevoeligheid gebruiken.

Schakeling voor afzonderlijke momentopnamen

De algemene onderdelen van de schakeling die dient voor afzonderlijke momentopnamen met de ME1201 zijn reeds in fig. 3 aangegeven. In de rusttoestand houdt men de kathode van de beeldtransformator op 3,1 kV, het rooster op 3,0 kV. In deze toestand kunnen geen electronen de fotokathode verlaten. De buis wordt „ontstoken" („de sluiter wordt geopend") door de kathode met behulp van een schakelaar S_1 op potentiaal nul te brengen. De buis wordt weer afgeknepen („de sluiter wordt gesloten") door het rooster met behulp van een tweede schakelaar S_2 op een zwak negatieve potentiaal te brengen, bijv. —100 V. Voor de schakelaars S_1 en S_2, die zeer snel na elkaar in werking moeten treden om de gewenste korte belichtingstijd te realiseren, neemt men waterstofthyratrons, die door betrekkelijk lage roosterspanningsimpulsen op nauwkeurig te bepalen tijdstippen kunnen worden ontstoken.

Het samenstel van kathode en rooster van de beeldtransformatorbuis heeft een zekere capaciteit, van ongeveer 100 pF, die bij de sprongsgewijze verandering van kathode- en roosterpotentiaal geladen en ontladen moet worden. Deze lading en ontlading, waarbij ongeveer $3000 \cdot 100 \cdot 10^{-12} = 3 \cdot 10^{-7}$ coulomb moet worden getransporteerd, zal enige tijd vergen. Bepalend voor deze tijd zijn: de maximale stroomsterkte die de thyratrons zonder schade voor hun kathodes kunnen leveren, de opbouwtijd van deze stroomsterkte, en de weerstand in de laadkring. De laad- en de ontlaadtijd dienen zo kort mogelijk te worden gehouden, aangezien in deze tijdvakken ook electronen van de fotokathode naar het fluorescentiescherm worden doorgelaten. Weliswaar bestaan dan niet de juiste velden voor een scherpe afbeelding, zodat deze electronen geen onscherpte door de eventuele verandering of beweging van het te fotograferen object kunnen veroorzaken; zij kunnen echter een gelijkmatige sluier in het beeld teweegbrengen, waardoor de beeldkwaliteit achteruitgaat.

Om de bovengenoemde electrische lading in 10^{-8} seconde te leveren, zou een gelijkstroom van 30 A nodig zijn. De door ons gebruikte Mullard thyratrons, van het type 3C45, zijn voor een stroom van 35 A ontworpen. Ten gevolge van de opbouwtijd van deze topstroom en ten gevolge van de geleidelijke daling van de stroomsterkte wanneer de spanning over de capaciteit van de beeldtransformator de eindwaarde nadert, zal echter hierbij de laadtijd in werkelijkheid aanzienlijk langer dan 10^{-8} sec duren. Dit zijn dus de factoren die aan het verminderen van de belichtingstijd een grens stellen. Deze grens, dwz. de minimale belichtingstijd waarbij het sluiereffect in de verkregen foto nog niet overheerst, kan alleen empirisch worden bepaald. Met de huidige middelen is een minimale belichtingstijd van 3 tot $4 \cdot 10^{-8}$ sec mogelijk gebleken. Dit resultaat is voor een deel daaraan te danken dat de topstroom van het thyratron 3C45 bij afzonderlijke opnamen of bij lage herhalingsfrequenties aanzienlijk boven de nominale waarde kan worden opgevoerd.

Wanneer een opname gemaakt is, komen de anodes van beide thyratrons geleidelijk weer op hun hoge beginspanning, beide buizen worden door ontionisatie niet-geleidend, en kathode en rooster van de beeldtransformator worden weer tot de potentiaal van 3,1 resp. 3,0 kV van de rusttoestand geladen. Gedurende dit herstel van de rusttoestand moet de beeldtransformator natuurlijk steeds afgeknepen blijven; te dien einde is gezorgd dat in de kathodekring de ontionisatie eerder optreedt en de lading sneller verloopt dan in de roosterkring.

De schakeling voor afzonderlijke opnamen is in *fig. 13* in detail weergegeven; een foto van een uitgevoerd apparaat, waarin de elementen van deze schakeling tezamen met de beeldtransformatorbuis ME1201 zijn ondergebracht, is gereproduceerd in *fig. 14*. De twee grote waterstofthyratrons 3C45 (S_1 en S_2) worden ontstoken door twee kleinere thyratrons, van het type 2D21 (T_1 en T_2). Deze kleine thyratrons worden op hun beurt ontstoken door een thyratron 2D21 (T_c) via twee integrerende schakelingen (D_2' en D_2''), die verschillende vertragingen voor T_1 en T_2 veroorzaken. Het tijdsverschil tussen de ontsteking van T_1 en van T_2

Digitized in Heiloo the Netherlands Not for sale!

www.freeservicemanuals.info 11/14/2023

is de belichtingstijd; het kan door middel van de regelweerstand R_2 op elke waarde tot 2 µsec worden ingesteld. De ontsteking van het thyratron T_c, die de belichting doet beginnen, wordt ten slotte bekeurigheid van de synchronisatie wordt duidelijk gedemonstreerd door *fig. 15*. Hierin zijn een reeks opnamen van de ontlading van de flitsbuis LSD2 zelf gereproduceerd, die werden gemaakt met een

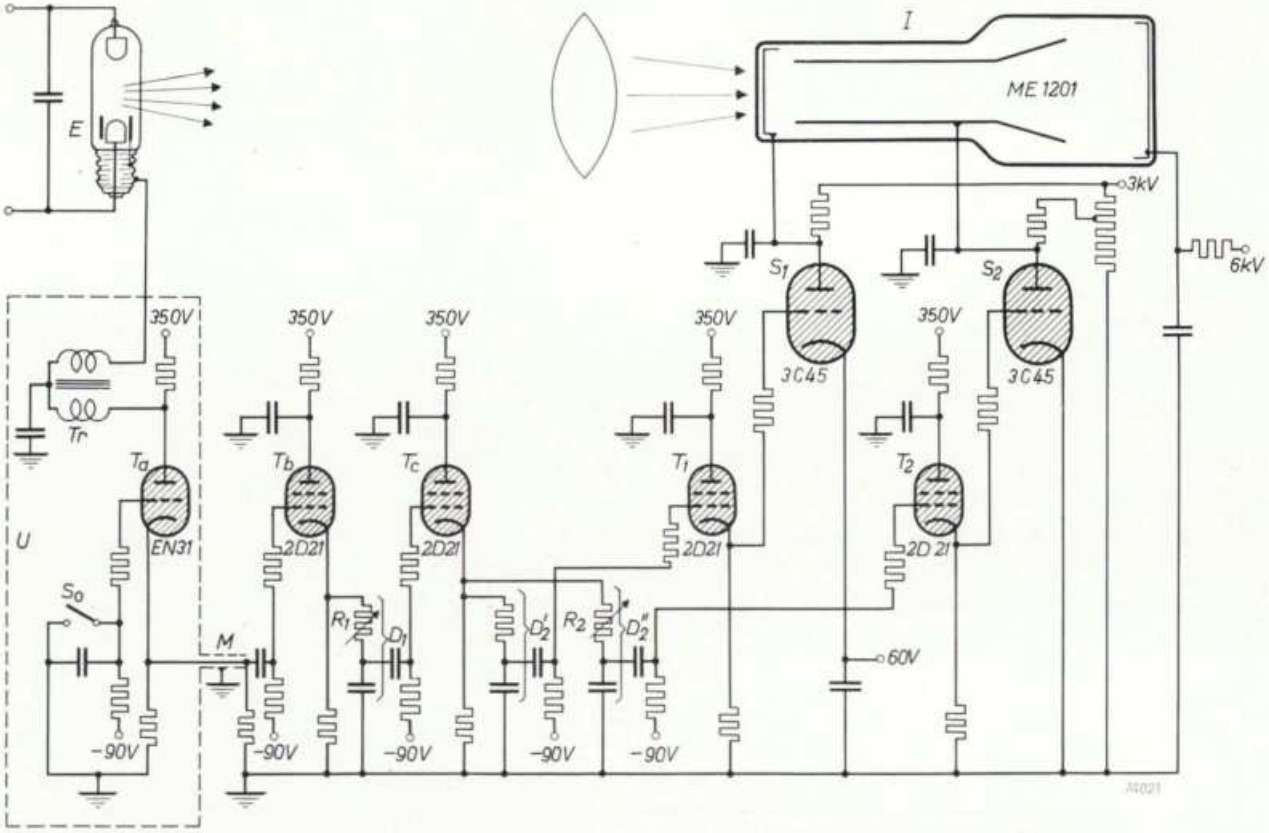


Fig. 13. Schakeling voor het maken van afzonderlijke opnamen met de beeldtransformator ME1201. Enige niet essentiële details zijn weggelaten. De opeenvolgende potentiaalsprongen van kathode en rooster van de beeldtransformator I worden teweeggebracht door de waterstofthyratrons S_1 resp. S_2, van het type 3C45 (zie ook fig. 3). Deze zijn ontworpen voor 35 A topstroom en kunnen een anodespanning van 3 kV hebben zonder dat spontane ontsteking (bij roosterspanning nul) plaats vindt. Zij worden ontstoken door de kleinere thyratrons T_1 en T_2 (type 2D21), die op hun beurt de voor hun ontsteking nodige roosterspanningsimpulsen ontvangen van een thyratron T_c via twee vertragingsketens D_2' resp. D_2''. D_2' geeft een vaste vertraging, terwijl de door D_2'' teweeggebrachte vertraging in fijne stappen kan worden geregeld met behulp van de regelweerstand R_2. Aldus kan men de „schakelaar" S_2, die de impuls op het rooster van de beeldtransformator geeft, hetzij vóór of tot 2 µsec nà S_1, die de impuls op de kathode geeft, in werking doen treden. R_2 bepaalt dus de belichtingstijd. Het thyratron T_c wederom wordt ontstoken als men de mechanische schakelaar S_0 sluit. De ontsteekimpuls wordt verkregen via de thyratrons T_a en T_b en nog een vertragingsketen D_1, die een vertraging levert welke men met de regelweerstand R_1 tot 100 µsec kan instellen. Dit heeft ten doel het functionneren van de beeldtransformator te synchroniseren met de piek van de lichtemissie van een electronenflitsbuis E, die eveneens door S_0, via het thyratron T_a en een transformator Tr, in werking wordt gesteld. (Het thyratron T_b moest er tussen worden gevoegd omdat de spanningsimpuls die wordt geleverd door het gedeelte U — het normale ontsteekapparaatje voor de electronenflitsbuis — niet geschikt is voor het ontsteken van T_c. De coaxiale kabel M, die U met T_b verbindt, moest zorgvuldig worden gedimensionneerd om de aanpassing, nodig voor de juiste impulsduur, te verkrijgen.)

werkstelligd door de twee kleine thyratrons T_a en T_b, die het mogelijk maken de belichting nauwkeurig te synchroniseren met de piek van de lichtuitzending van een electronenflitsbuis, die het op te nemen voorwerp verlicht. Het bijschrift van fig. 13 geeft hierbij nog enige toelichting. De nauwbelichtingstijd van 10^{-7} sec. De afwijkingen in de ontstekingstijdstippen zijn zo gering dat bijv. een opname als in fig. 15*b* willekeurig vaak bij opeenvolgende flitsen van de buis kan worden verkregen. Terloops zij er op gewezen dat deze opnamen wel duidelijk aantonen welk een machtig hulpmiddel

Digitized in Heiloo the Netherlands Not for sale!

www.freeservicemanuals.info 11/14/2023

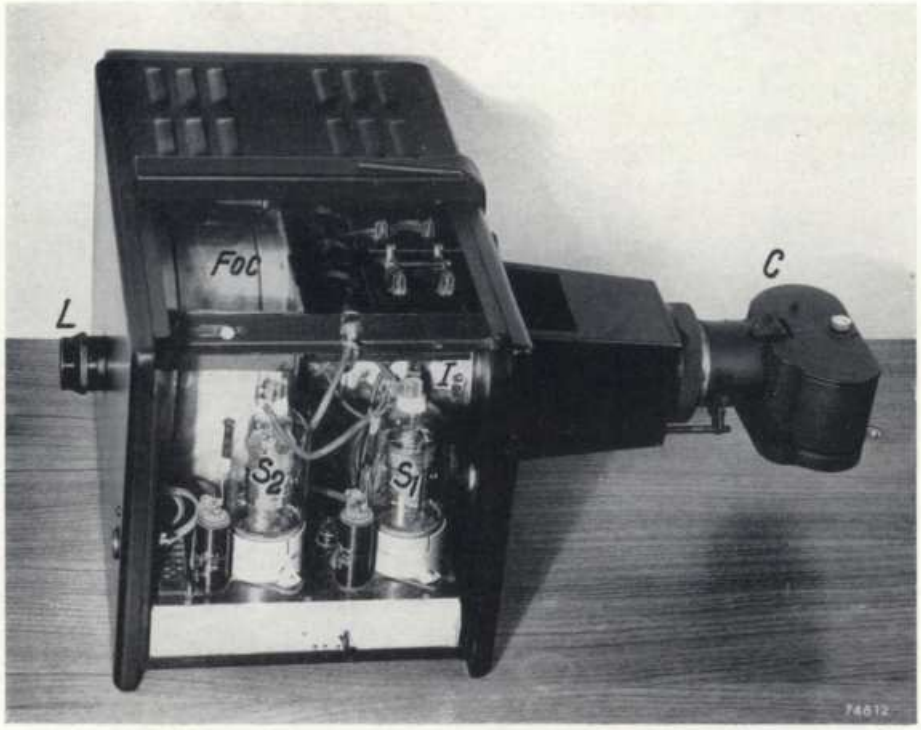
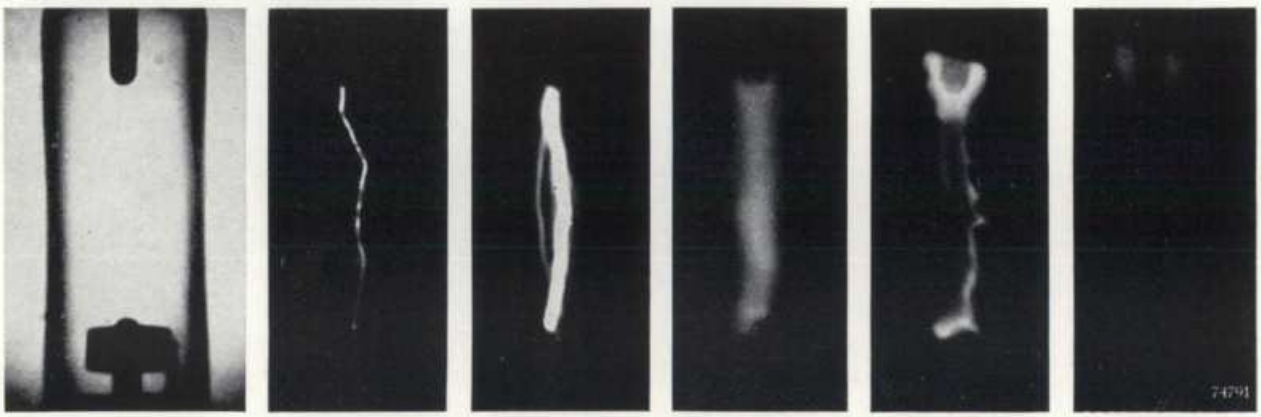


Fig. 14. Toestel voor laboratoriumgebruik, voor afzonderlijke zeer snelle momentopnamen. De beeldtransformator *I* is dwars in het huis gemonteerd. Links ziet men de lens *L* die een beeld van het object op de fotokathode ontwerpt. Het fototoestel *C* is rechts aan het huis gezet. Vooraan in het huis ziet men de beide waterstofthyratrons S_1 en S_2 (type nr. 3C45). *Foc* is de focusseerspoel.

deze ultrasnelle momentopnamen kunnen zijn voor het onderzoek van het ontladingsmechanisme in electronenflitsbuizen, in vonken en dergelijke.

Speciale verschijnselen bij uiterst korte opnamen

Enige eigenaardigheden in het gedrag van onze „sluiter" bij uiterst korte opnamen hebben wij hierboven reeds vermeld, bijv. de invloed van de oppervlakteweerstand der fotokathode, die de toevoer van electronen aan de sterk emitterende kathodegedeelten vertraagt; de invloed van het geleidelijk toe- en afnemen van de roosterspanning ten gevolge van de begrensde stroomlevering door de thyratrons; de eventuele storing door licht dat in de rusttoestand wordt doorgelaten door sommige gedeelten van het metaallaagje op het fluorescerende scherm. Wij willen thans nog twee andere belangrijke effecten aanstippen.



a *b* *c* *d* *e* *f*

$\tau = 1$ μsec $\tau = 2$ μsec $\tau = 35$ μsec $\tau = 60$ μsec $\tau = 80$ μsec

Fig. 15. Reeks opnamen met 0,1 μsec belichtingstijd, van opeenvolgende stadia in het ontstaan en afsterven van de ontlading in een flitsbuis LSD2. *a*) is een statische foto van het electrodensysteem, *b*)-*f*) zijn met toenemende vertragingstijd τ na het ontsteken van de flits gemaakt.

Digitized in Heiloo the Netherlands Not for sale!

www.freeservicemanuals.info 11/14/2023

Het eerste houdt verband met zeer kleine hoeveelheden foto-electrisch materiaal die tijdens de fabricage van de buis op het rooster terechtkomen. Wordt er ook tijdens de rusttoestand licht door het te fotograferen object uitgezonden, dan zal het licht dat door de halfdoorzichtige fotokathode wordt doorgelaten, ten dele op het rooster vallen en hieruit electronen vrij maken. Deze electronen worden versneld en enigszins gefocusseerd door het electrische veld tussen het rooster en het fluorescentiescherm. Aldus ontstaat in het beeld een lichtende ring (zie fig. 10). Hoewel het verschijnsel op zichzelf zeer zwak is, kan het over een relatief lange tijd gesommeerd worden en daardoor in sommige gevallen de opname bederven. De enige algemene remedie voor deze gevallen is een verlaging van de anodespanning of een verhoging van de roosterspanning.

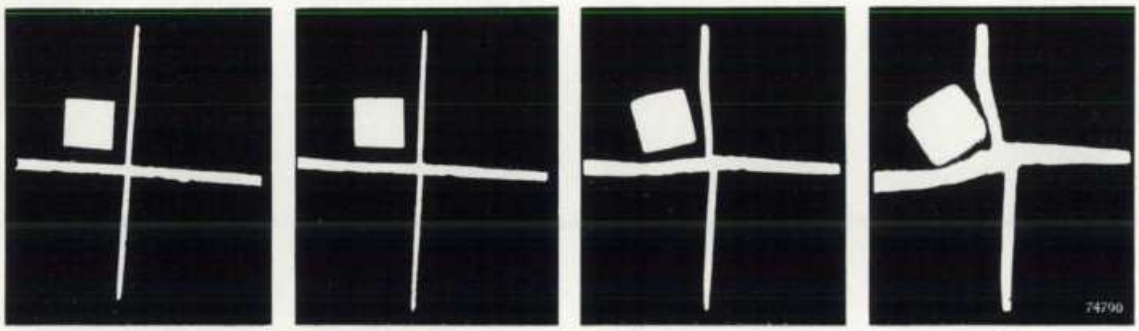
Het tweede effect is waarschijnlijk weer aan de reeds genoemde oppervlakteweerstand van de fotokathode te wijten. Het bestaat uit een plaatselijke vertekening van het beeld in die gedeelten waar zeer grote helderheden optreden („hoge lichten"); zie *fig. 16*. De verklaring van het verschijnsel is nog niet geheel zeker; het lijkt ons echter waarschijnlijk dat het wordt veroorzaakt doordat de sterk verlichte delen van de fotokathode zich gedurende de zeer korte tijd van de electronenemissie tot bijna de roosterpotentiaal laden, aangezien de geëmitteerde electronen niet snel genoeg aangevuld worden. Zulk een kortstondig aanwezige plaatselijke lading kan dwarsvelden langs het oppervlak der fotokathode teweegbrengen, die grote invloed zullen hebben op electronen van geringe snelheid die door andere delen van de fotokathode worden geëmitteerd.

Dit vertekeningseffect is van belang omdat het weer een onderste grens aan de belichtingstijd stelt. Uit fotografisch oogpunt is deze grens merkwaardig, want zij betekent dat de minimale vereiste belichtingstijd niet door de helderheid maar door de helderheidsomvang van het te fotograferen object wordt voorgeschreven. In een bepaald geval, waarbij een beeldtransformatorbuis uit de normale fabricage werd gebruikt, vonden wij dat een vertekening optrad indien in de hoge lichten, bij een belichtingstijd van 0,1 μsec, een zwarting groter dan 0,5 boven de sluier van de film werd geregistreerd. Dit leidt tot de practische conclusie dat de bruikbaarheid van diverse films en ontwikkelaars voor de kortste belichtingen niet naar hun eigenschappen in het normale gebruik kan worden beoordeeld, maar dat het er om gaat of zij voldoende detail bij zeer geringe negatiefzwartingen kunnen weergeven. Gelukkig zijn de snelle panchromatische films in dit opzicht juist bijzonder gunstig.

Toepassing van de beeldtransformator voor meervoudige en tijdbasisopnamen

Moet men uiterst kort belichten om een onscherpte door verandering of beweging van het object te vermijden, dan zal men voor een kinematografisch beeld — dus een continue voorstelling van de verandering of beweging — klaarblijkelijk een reeks opnamen moeten maken met zeer korte tussenpozen, in lengte vergelijkbaar met de belichtingstijd. Men zal dus naar beeldfrequenties van 10^6 of 10^7 beelden per seconde moeten streven.

De bovenvermelde hersteltijd, die o.a. nodig is voor de ontionisatie der thyratrons, maakt dat de beschreven schakeling niet voor herhalingsfrequenties boven 20 kHz te gebruiken is. Tot veel hogere herhalingsfrequenties kan men gaan als men de techniek toepast die voor radarmodulatoren ontwikkeld is. Het minimum waartoe men de tussentijd



a *b* *c* *d*

Fig. 16. Vertekening die ontstaat als de fotokathode van de beeldtransformator door zeer sterke verlichting plaatselijk wordt overbelast. Het in (*a*) weergegeven eenvoudige diapositief (*a* is een statische foto) werd op de fotokathode afgebeeld. De lens werd in verschillende mate gediafragmeerd en telkens werd een opname met 0,1 μsec belichtingstijd gemaakt. In (*c*) en (*d*) was de verlichting 2× resp. 4× zo sterk als in (*b*).

Digitized in Heiloo the Netherlands Not for sale!

www.freeservicemanuals.info 11/14/2023

van opeenvolgende beelden kan terugbrengen, zal dan veeleer worden bepaald door de snelheid waarmee men de film kan transporteren en door het nalichten van het fluorescentiescherm. Door gebruik te maken van snel roterende filmtrommels en geschikte, zeer kort nalichtende schermen zal men wellicht filmsnelheden van 200 000 beelden/sec kunnen bereiken. Bij een belichtingstijd van 10^{-7} sec zou dan echter de tussentijd nog 50 maal zo lang als de belichting duren. Een echte kinematografische opname van de zeer snelle verschijnselen die men met de beeldtransformator kan „invriezen", is dus op deze wijze niet mogelijk.

De moeilijkheid van de hoge beeldfrequenties kan men op drie manieren omzeilen. Ten eerste kan men, als men met periodieke processen te maken heeft, overgaan tot stroboscopische waarneming: men grijpt dan de opeenvolgende fazen van het proces niet uit één enkele periode maar uit opeenvolgende periodes, of eventueel slaat men zelfs telkens een heel aantal periodes over. Deze werkwijze met de beeldtransformator heeft men bijv. toegepast om de voortplanting van mechanische spanningsgolven in een doorzichtig medium te demonstreren. Hierbij werd de schakeling voor afzonderlijke opnamen gebruikt en de „sluiter" werd bediend met een herhalingsfrequentie van 20 kHz, met 1 μsec „belichtingstijd" van ieder beeld. Het scherm werd visueel waargenomen; hierbij is geen zeer korte nalichttijd van de fosfor nodig, mits het nalichten maar niet langer duurt dan de apperceptietijd van het oog.

De tweede manier bestaat daarin, een beeld te ontwerpen dat slechts een deel van het fluorescentiescherm beslaat en dit kleine beeld achtereenvolgens door afbuiging op verschillende plaatsen van het scherm te brengen. Te dien einde brengt men twee paar afbuigspoelen, voor horizontale en voor verticale afbuiging, om de beeldtransformatorbuis aan. Aan ieder spoelenpaar voert men een stroom toe die een reeks discrete waarden kan hebben, welke waarden men hem in zodanige volgorde geeft, dat de nodige combinaties van horizontale en verticale afbuiging voor de diverse beeldposities worden verkregen. Bij kleine snelheden, bijv. bij tussenpozen van de orde van 1/1000 sec voor de beeldposities, kan men voor het trapsgewijze variëren van de afbuigstroomsterkten een roterende schakelaar gebruiken; dit zal voor vele problemen in industrie en speurwerk een nuttige methode kunnen zijn. Door zich voor het omschakelen van de afbuigstromen van electronische middelen te bedienen, zal men echter wellicht het afbuigen en stilzetten van het beeld in tijden van de orde van 10^{-7} sec kunnen bewerkstelligen, d.i. de reeds bereikte belichtingstijd voor afzonderlijke opnamen. Bij toekomstige typen buizen, met grotere schermen, zal men het beeld waarschijnlijk wel 25 posities op het scherm kunnen geven (9 posities heeft men reeds verwezenlijkt) en dus een serie van 25 beelden in één enkele opname kunnen registreren. Een combinatie van de afbuigmethode met de eerder genoemde techniek van uiterst snelle kinematografie zal dan een vermenigvuldiging van de beeldfrequentie met een factor 25 mogelijk maken.

Een nog krachtiger middel om uiterst snelle veranderingen te registreren, heeft men in de derde methode, die kan worden toegepast indien voor de gewenste informatie kan worden volstaan met een beeld in één dimensie, het liefst op een rechte lijn. Dit is het geval bijv. bij de voortplanting van een explosie, het opbouwen van een ontlading, enz. Men heeft dan geen afzonderlijke, van elkaar gescheiden, beelden meer nodig, zoals bij de vorige methode, en men kan een continue afbuiging van het lijnvormige beeld toepassen. Deze continue afbuiging (tijdbasisopname) kan met één paar afbuigspoelen als boven vermeld worden bewerkstelligd. Er zij op gewezen dat zowel bij deze als bij de voorafgaande methode geen spanningsimpulsen op het rooster van node zijn. Men kan hier dan ook met een eenvoudiger beeldtransformatorbuis werken (de ME1200), die geen rooster bezit. Met een sinusvormige stroom door de afbuigspoelen kan men zeer grote afbuigingsnelheden bereiken. Courtney-Pratt [11]) heeft op deze wijze nog bruikbare opnamen verkregen met een afbuigingsnelheid van 300 000 meter per seconde. Dit is een 1000 maal grotere schrijfsnelheid dan men mechanisch, met de beste trommelcamera's, heeft kunnen realiseren. Het „scheidend vermogen" voor tijdsverschillen bedraagt bij deze afbuigingsnelheid globaal 10^{-9} sec. Zo was Courtney-Pratt bij zijn proeven in staat, met redelijke nauwkeurigheid het tijdsverschil te meten waarmee twee lichtimpulsen die een wegverschil van ca. 1 meter hadden, op de fotokathode aankwamen.

Vergelijking met andere methodes voor zeer snelle momentfotografie

Tot besluit van dit artikel willen wij enkele opmerkingen maken over de merites van de beeldtransformator in vergelijking met andere inrichtingen waarmee belichtingstijden van dezelfde orde kunnen worden verkregen [12]). Het oudste en nog

[12]) Een overzicht geven J. M. Meek en R. C. Turnock, Electro-optical shutters as applied to the study of electrical discharges, Photographic J. **92B**, 161-166, 1952 (Sept.-Oct.).

Digitized in Heiloo the Netherlands Not for sale!

www.freeservicemanuals.info 11/14/2023

veel toegepaste van deze apparaten is de Kerr-cel. Als men deze laat werken met spanningsimpulsen die langs electronische weg zijn opgewekt, kan men er even kleine belichtingstijden mee realiseren als met de beeldtransformator, nl. van 10^{-7} sec en zelfs nog minder. Een essentieel nadeel van de Kerr-cel echter is haar geringe gevoeligheid. Deze is ten dele aan de lichtabsorptie van de „sluiter" zelf toe te schrijven (op zijn best wordt 5% van het opvallende licht doorgelaten), ten dele aan de beperkte openingshoek van de lichtbundel die de cel kan laten passeren. Bij de beeldtransformator daarentegen kan het „doorlatingsvermogen" van de eigenlijke sluiter veel meer dan 100% bedragen, dank zij de energie die door de hoge anodespanning aan de electronen wordt meegedeeld („lumenversterking", zie [3]), en bovendien kan men voor de optiek alle soorten lenzen gebruiken, tot groothoeklenzen toe, en met iedere beschikbare openingsverhouding. Het gebrek aan licht waarvan in de vorige paragrafen herhaaldelijk sprake was, is dan ook niet aan de beeldtransformator te wijten — de effectieve apertuur van de gehele fotografische opstelling met de beeldtransformator kan men groter maken dan die van de lichtsterkste Schmidt-camera (zie [11])) —, maar eenvoudig aan de korte duur van de gewenste belichtingstijd! Het zal aan iedere amateurfotograaf bekend zijn dat hij, bij gebruik van een snelle film, van een normaal object in de felle zon een behoorlijke opname kan maken met een belichtingstijd van 1/500 sec en diafragma bijv. $f:8$. Stellen we voor onze apparatuur met de beeldtransformator de openingsverhouding op $f:1{,}4$ en zien we af van het Schwarzschild-effect, dan zou hiermee voor dezelfde helderheid van het object een belichtingstijd van ca. $2\cdot10^{-4}$ sec nodig zijn. Voor een belichtingstijd van 10^{-7} sec zal dus de verlichting enige duizenden malen sterker moeten zijn dan in de felle zon.

Andere methodes die men voor zeer snelle momentopnamen heeft bedacht, maken gebruik van de televisietechniek. Van het te fotograferen object wordt een beeld ontworpen op de fotokathode van een televisieopneembuis, de emissie van de fotokathode wordt bestuurd, zodanig dat zij alleen in de gewenste belichtingstijd plaats vindt, en met het verkregen videosignaal wordt een optisch beeld op een kathodestraalbuis geproduceerd. Proeven waarbij een normale iconoscoop als opneembuis diende (Prime en Turnock), wezen uit dat hierbij het beeld in de rusttoestand niet voldoende kan worden onderdrukt en dat de beeldkwaliteit hierdoor bedorven wordt. Betere beelden en een nog grotere gevoeligheid zou men kunnen verwachten bij gebruik van een beeldorthicon, zoals door Meek en Turnock werd voorgesteld [12]); in dat geval zou het beeldgedeelte van de buis moeten worden bestuurd. De opstelling lijkt dan in principe op die met de beeldtransformator, die in dit artikel werd beschreven, alleen zal de gevoeligheid, door de tussenkomst van het versterkergedeelte van het orthicon, hoger kunnen zijn. Het behoeft echter wel geen betoog dat de gehele apparatuur die bij deze methode te pas komt, aanzienlijk ingewikkelder en kostbaarder zal zijn dan bij de methode met de beeldtransformator.

Samenvatting. Doordat het electronenbeeld in een beeldtransformator vrijwel zonder traagheid kan worden onderdrukt en weer vrijgelaten, kan men deze als „sluiter" voor het maken van uiterst snelle momentopnamen gebruiken. Met een speciale beeldtransformator, die voor dit doel in de Mullard laboratoria te Salfords (Engeland) werd ontwikkeld, de ME1201, heeft men aldus reeds opnamen met een belichtingstijd van slechts $3\cdot10^{-8}$ sec kunnen maken. Deze beeldtransformator is voorzien van een roosterelectrode, die tijdens de opname op een spanning van 3 kV ten opzichte van de kathode komt, terwijl de anodespanning 6 kV bedraagt. Verder bezit de ME1201 een speciale fotokathode met zeer kleine oppervlakteweerstand en een zeer fijnkorrelig, met een metaallaagje bedekt fluorescentiescherm. Het electronenoptische systeem is in grote trekken analoog met dat van de beeldiconoscoop; het levert een vrijwel onvertekend beeld van de fotokathode (nuttige diameter 2,5 cm) met een vergroting tussen 2× en 7× (normaal ca. 4×). Bij een statische opname kunnen in het gunstigste geval 50 lijnen/mm (25 zwarte + 25 witte) worden gescheiden, in de practijk — bij een rimpel van 1% in de spanningen en stromen — nog 20 lijnen/mm. Een onderste grens aan de belichtingstijd wordt o.a. gesteld door de snelheid waarmee de rooster-kathodecapaciteit van de beeldtransformator kan worden geladen, door de beperkte helderheid van de te fotograferen objecten, en ook door de helderheidsomvang der objecten, zoals in het artikel wordt toegelicht. Het instrument is, met belichtingstijden van ca. 10^{-7} sec, reeds voor velerlei onderzoekingen toegepast waarbij snel veranderende en bewegende objecten moeten worden gefotografeerd. Deze kunnen òf zelf lichten (explosies, vonken, ontladingen) òf door een lichtbron zoals de electronenflitsbuis LSD2, met een flitsduur van 2 μsec, worden verlicht (projectielen, vloeistofstralen, mechanische spanningsgolven enz.). In het artikel wordt een schakeling voor de besturing van de beeldtransformator en voor de synchronisatie met de lichtbron nader beschreven. Voor eventuele kinematografische opnamen is het een interessante mogelijkheid, het beeld met behulp van afbuigspoelen een reeks (bijv. 25) verschillende posities op het fluorescentiescherm te geven. Van een lijnvormig beeld kan men door continue afbuiging een tijdbasisopname maken, waarbij men schrijfsnelheden tot 300 000 m/sec en een „scheidend vermogen" voor tijdsverschillen van 10^{-9} sec heeft kunnen verkrijgen.

Digitized in Heiloo the Netherlands Not for sale!

www.freeservicemanuals.info 11/14/2023

CONTROLE OP DE LICHTSTIP VAN WEERGEEFBUIZEN

Foto Walter Nürnberg.

De kwaliteit van een televisiebeeld hangt ten nauwste samen met de fijnheid van de fluorescerende lichtstip die op het scherm van de weergeefbuis regel voor regel het beeld schrijft — met de nauwkeurigheid dus waarmee de electronenbundel tot een stip op het scherm wordt gefocusseerd. Bovenstaande foto toont hoe in de fabricage van weergeefbuizen de grootte en de vorm van de lichtstip worden gecontroleerd. Men laat daartoe de buis normaal werken en legt aan het rooster een zodanige impulsvormige stuurspanning dat op het scherm een raster van stippen verschijnt. De grootte van de roosterspanningsimpulsen wordt zo ingesteld dat de amplitude van de impulsvormige bundelstroom een bepaalde waarde krijgt, bijv. 100 μA. Nadat de focusseerstroom zo gunstig mogelijk is ingesteld, controleert men met behulp van een microscoopje, of de stippen klein genoeg zijn en voldoende dicht de cirkelvorm benaderen.

Digitized in Heiloo the Netherlands Not for sale!

www.freeservicemanuals.info 11/14/2023

HET RENDEMENT VAN DE FLUORESCENTIE VAN KATHODESTRAALBUIZEN

door A. BRIL en H. A. KLASENS.

535.376:621.385.832

Voor de fabricage van kathodestraalbuizen, zoals oscillograafbuizen, weergeefbuizen voor televisie e.d., is het gewenst het rendement van de omzetting van de energie der kathodestralen in lichtenergie nauwkeurig te kennen. Door speciale metingen en aansluitende theoretische beschouwingen kon worden vastgesteld, welke de condities zijn waaronder een optimale helderheid van het scherm bij gegeven electronenenergie wordt verkregen, in het bijzonder ook bij schermen die met een aluminiumlaag zijn bedekt.

Inleiding

Dat bepaalde mineralen fluoresceren indien zij in een verdund gas aan een electrische ontlading worden blootgesteld, is omstreeks 1860 door E. Becquerel geconstateerd. Na de ontdekking en bestudering der kathodestralen door Hittorf (1869) en Crookes (1879) heeft vooral de laatste deze fluorescentie, voortaan bekend onder de naam cathodoluminescentie, bij diverse stoffen, zoals CaS, BaS, diamant, robijn, enz. onderzocht. Door Lecoq de Boisbaudran (1883) werd de lijst van verbindingen die dit verschijnsel vertonen, aanzienlijk uitgebreid.

Lenard (1903), die zowel op het gebied der kathodestralen als op dat van de luminescentie reeds baanbrekend werk had verricht, onderzocht het verschijnsel der cathodoluminescentie kwantitatief. Volgens Lenard kon het verband tussen de helderheid (luminantie) L van een aan kathodestralen (electronen) blootgesteld scherm, de stroomdichtheid j en de versnellende spanning U, worden voorgesteld door de formule:

$$L = k\,j\,(U - U_0) \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad (1)$$

Hierin stellen k en U_0 constanten voor, die van geval tot geval verschillend zijn. De grootheid U_0, d.i. de versnellende spanning waarbeneden geen merkbaar lichten optreedt, was bijv. voor de fosfor CaS-Bi 300 V, voor ZnS 1700 V, voor uraniumglas 6000 V.

Latere onderzoekers hebben de cathodoluminescentie bij kleine versnellende spanningen nauwkeuriger onderzocht [1]). Zij kwamen daarbij tot formules van de gedaante:

$$L = k' j U^n \quad (n > 1) \, . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad (2)$$

Het rendement η van de fluorescentie, d.i. het quotient van de per oppervlakte-eenheid door het scherm uitgezonden straling en de energie per eenheid van oppervlakte der electronen, jU, voldoet dan aan de formule $\eta = k'' U^{n-1}$.

Het is duidelijk dat een dergelijke formule, volgens welke het rendement monotoon met U toeneemt, slechts kan gelden in een beperkt gebied van U-waarden, daar η natuurlijk niet > 1 kan worden.

Aangezien het rendement van de cathodoluminescentie voor diverse technische toepassingen (oscillograafbuizen, televisie, electronenmicroscoop, radar) van belang is, werd in het Philips Laboratorium te Eindhoven nog eens een uitvoerig onderzoek hierover ingesteld. De omstandigheden werden hierbij zo gekozen dat enerzijds aansluiting aan de practijk werd verkregen en anderzijds de resultaten zo weinig mogelijk afhankelijk waren van bijkomstige condities, zoals de korrelgrootte van het schermmateriaal en de dikte van het scherm.

Het mechanisme der cathodoluminescentie; voorwaarden voor de rendementsmetingen

Het scherm van een kathodestraalbuis is gewoonlijk opgebouwd uit een of meer lagen kristallen. Bij ZnS bij voorbeeld hebben deze kristallen afmetingen die variëren van ongeveer 1 micron tot enkele tientallen microns, bij sommige andere stoffen, zoals bijv. willemiet (Zn_2SiO_4-Mn), zijn de korrels kleiner. Indien een dergelijk kristal door een electron wordt getroffen, kan het voorkomen dat dit electron het kristal zonder energieverlies verlaat (elastische botsing). In de regel zal het electron echter zijn energie geheel of gedeeltelijk aan het kristal afstaan (onelastische botsing). De energie die bij zulk een botsing wordt afgestaan, wordt in hoofdzaak overgedragen aan de in het kristal aanwezige electronen. In het kristal ontstaat aldus een zwerm van „aangeslagen" electronen met een extra energie van de orde van 10 eV. De aangeslagen (secundaire) electronen zullen, als het kristal geen „fosfor" is, op den duur deze energie stralingloos

[1]) Voor uitvoerige opgave van literatuur, voornamelijk van na 1925, zie A. Bril en H. A. Klasens, Philips Res. Rep. **7**, 401-420, 1952 (No. 6).

Digitized in Heiloo the Netherlands Not for sale!

www.freeservicemanuals.info 11/14/2023

als warmte aan het kristalrooster afgeven. Indien het kristal echter een fosfor is, zal een deel der bedoelde electronen hun extra energie direct of indirect overdragen aan zg. luminescentiecentra, die daardoor in staat worden gesteld een lichtquantum uit te zenden [2]). Een ander deel der secundaire electronen zal het kristal direct verlaten (secundaire emissie), hetgeen van belang is in verband met de ladingstoestand van het scherm.

Voor de physicus is het interessant alle onderdelen van dit proces nader te bestuderen, dus enerzijds het aantal en de snelheidsverdeling van de secundaire electronen, anderzijds de verdeling van de energie over stralingloze processen en processen die aanleiding geven tot lichtemissie. De technicus is meer direct geïnteresseerd in het aantal per primair electron uitgezonden lichtquanta. De metingen die in dit artikel zullen worden beschreven en die in het aangehaalde artikel [1]) uitvoeriger zijn behandeld, hadden dan ook ten doel deze laatste grootheid zo nauwkeurig mogelijk te bepalen.

Daareven is er reeds op gewezen dat, zowel volgens de oudere waarnemingen van Lenard als volgens latere metingen, het rendement van de cathodoluminescentie bij kleine electronen-energieën zeer gering is en met toenemende energie sterk toeneemt. Men heeft dit verklaard door het feit dat bij kleine electronenenergie de indringdiepte der electronen zeer klein is. De electronen worden dan hoofdzakelijk geremd in de buitenste atoomlagen van het kristal, waar zij, ten gevolge van roosterdefecten of verontreinigingen, slechts weinig luminescentie veroorzaken.

Voor het verkrijgen van goed gedefinieerde uitkomsten, die onafhankelijk zijn van dergelijke oppervlakte-effecten, zal men zich dus in de eerste plaats er toe moeten beperken de cathodoluminescentie te onderzoeken bij grote electronensnelheden, bij voorbeeld corresponderend met versnellende spanningen van 10 tot 50 kV. Dit spanningsgebied (waarbij electronen 1 tot 25 μ in een kristal zoals ZnS doordringen) is ook voor de technische toepassingen het meest interessant.

Een tweede voorwaarde voor het meten van goed gedefinieerde rendementswaarden is, dat men een dik scherm (bijv. 0,3 mm) gebruikt. Dit kan als volgt worden toegelicht.

Een scherm van een kathodestraalbuis is, zoals gezegd, gewoonlijk opgebouwd uit een of meer lagen kristallen. Beschouwen we eerst een enkel kristalletje. Rondom de baan die het primaire electron daarin beschrijft, zullen de secundaire electronen worden gevormd, die ten dele aanleiding geven tot lichtemissie. Het opgewekte licht wordt, voordat het het kristal verlaat, meestal enige malen door de wanden van het kristal gereflecteerd (totale reflectie), waarbij het gehele kristal als het ware met licht wordt gevuld. Wij mogen daarom het kristal als een naar alle zijden stralende lichtbron beschouwen, die in de rest van het scherm is ingebed. Heeft het licht het kristal verlaten, dan zal het naburige kristallen treffen, die het licht eveneens inwendig reflecteren en het ten slotte op hun beurt verder doorgeven. Dit doorgeven van de straling van kristal tot kristal is de oorzaak van een lichtverstrooiing in het scherm, die op zichzelf geen energieverlies betekent. Behalve deze verstrooiing vindt bij de doorgang van het licht door de kristallen ook absorptie plaats, die wèl met energieverlies gepaard gaat.

Beschouw nu de beide zijden van het scherm, namelijk de van de electronenbron afgekeerde zijde (voorzijde), d.i. de zijde vanwaar men gewoonlijk het scherm bekijkt, en de naar de electronenbron toegewende zijde (achterzijde). Het scherm zendt naar beide zijden licht uit, maar niet even veel, en de verdeling van de totale beschikbare lichtenergie over de beide lichtstromen wordt in hoofdzaak bepaald door de verstrooiing en de absorptie. Deze hangen uiteraard af van de dikte en de geaardheid van het scherm (kristalgrootte, absorptie van de fosfor) en van de indringdiepte der primaire electronen. Laat men de laagdikte toenemen, dan zal ten slotte in 't geheel geen licht meer tot de voorzijde van het scherm doordringen. Al het licht zal dan, afgezien van verliezen door absorptie, aan de achterzijde het scherm verlaten. Deze situatie is natuurlijk voor de practijk meestal onbruikbaar, maar zij leent zich uitstekend voor metingen ter bepaling van het rendement van de fluorescentie.

Deze metingen laten zich het best aldus uitvoeren dat men een electronenbundel van constante stroomdichtheid onder een zekere hoek met de normaal een dik scherm laat treffen en dan de loodrecht op het scherm uitgestraalde energiestroom per oppervlakte-eenheid en per eenheid van ruimtehoek meet. Daar men, op grond van waarnemingen, mag aannemen dat de straling van een dik scherm de wet van Lambert volgt (helderheid onafhankelijk van de richting waaruit men het scherm bekijkt), behoeft men de gevonden, in de richting van de normaal uitgezonden, specifieke energiestroom slechts met de factor π te vermenigvuldigen om de totale energiestroom per eenheid

[2]) Zie ook bijv. A. Bril en F. A. Kröger, Verzadiging der fluorescentie in televisiebuizen, Philips techn. T. **12**, 122-130, 1950.

Digitized in Heiloo the Netherlands Not for sale!

www.freeservicemanuals.info 11/14/2023

van oppervlakte te vinden. Deelt men deze door het product van stroomdichtheid en versnellende spanning, dus door het vermogen per oppervlakte-eenheid van de primaire electronen, dan krijgt men het rendement. Dit rendement wordt mede bepaald door de absorptieverliezen. Hiervoor kan men desgewenst een correctie invoeren door te bedenken dat het licht in een zeer dunne buitenste laag van het scherm wordt opgewekt. De helft van dit licht treedt dan zonder merkbare absorptie direct aan de achterzijde uit het scherm en de rest pas na verstrooiing in het scherm. Deze rest heeft daarbij ten gevolge van absorptie een verzwakking ondergaan, overeenkomend met het reflectievermogen R_∞ van een oneindig dikke laag kristallen. Noemen wij het door directe meting bepaalde rendement η_m en het, aldus voor absorptieverliezen gecorrigeerde, „intrinsieke", rendement η_i, dan moet dus gelden:

$$\eta_m = (^1/_2 + ^1/_2 R_\infty)\ \eta_i \quad . \quad . \quad . \quad . \quad (3)$$

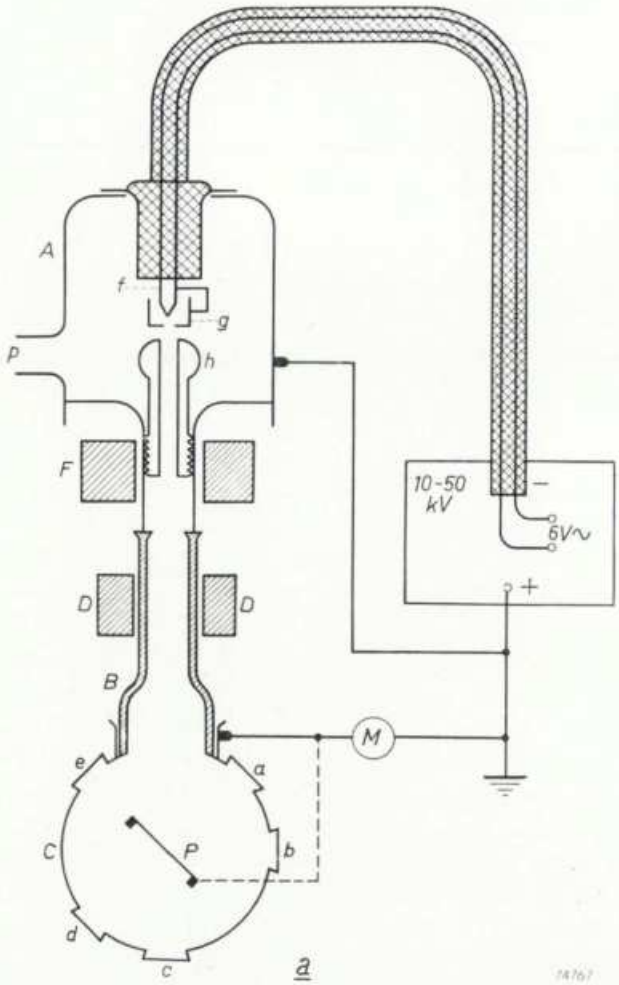
of:

$$\eta_i = \frac{2}{1 + R_\infty}\ \eta_m \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad (4)$$

Apparatuur voor de metingen

De metingen werden uitgevoerd in een demonteerbare kathodestraalbuis, die permanent met een oliediffusiepomp met voorgeschakelde roterende oliepomp verbonden was. Deze buis (*fig. 1a* en *b*) bestaat uit drie delen, *A*, *B* en *C*. In het deel *A* bevindt zich de electronenbron, die van dezelfde constructie is als in de Philips electronenmicroscoop [3]), en die een oxydekathode *f* met een kern van chroomnikkeldraad bevat. Deze kathode is omgeven door een kapje *g*, door een opening waarvan de electronen uittreden. De afstand tussen *g* en de doorboorde, met de metalen wand van *A* verbonden, anode *h* is instelbaar. De anode en het vat *A* zijn geaard, terwijl de gloeidraad *f* en het kapje *g* door middel van een transformator en gelijkrichter op een hoge negatieve spanning kunnen worden gebracht, die aan de primaire zijde van de transformator te regelen is. De toevoerdraden van de kathode worden door een porseleinen isolator binnen de buis gebracht.

Het deel *C* is een cylindrisch metalen vat. Hierin is, onder een hoek van 45°, een aluminiumplaat *P* geplaatst, die een aantal ondiepe vakjes bevat,



a

b

Fig. 1 *a*) Schema van de opstelling voor het meten van het rendement der fluorescentie. *A* metalen vat, *h* anode, *f* gloeidraad, *g* kapje, *p* verbinding met de pomp, *F* focusseerspoel, *D* deflectiespoelen, *B* glazen tussenstuk, *C* metalen cylinder, *P* opvangplaat, *a*, *b*, *c*, *d*, *e* kwartsvensters, *M* microampèremeter.
b) Foto van de opstelling. *L* kastje met fotocel.

[3]) Zie Philips techn. T. **12**, 33-51, 1950.

Digitized in Heiloo the Netherlands Not for sale!

www.freeservicemanuals.info 11/14/2023

welke met diverse fosforen worden gevuld. Met behulp van een magneet kan de plaat P in haar eigen vlak worden verplaatst. Daardoor is het mogelijk na elkaar verschillende fosforen onder dezelfde omstandigheden aan het electronenbombardement bloot te stellen. De fluorescentiestraling wordt, loodrecht op het vlak van P, door het kwartsvenster a waargenomen en gemeten. Het venster d dient om desgewenst het aan de voorzijde van een scherm uittredende licht te meten. In dit geval wordt de massieve plaat P vervangen door een plaat met openingen en worden de fosforen aangebracht op in deze openingen passende glasplaten. De vensters b, c en e maken het mogelijk de fosfor tijdens de meting te bekijken. In het bijzonder dient het venster b om ook in andere richtingen dan de normaal de intensiteit van het fluorescentielicht te meten en om de spectrale verdeling te bepalen.

De electronenbundel kan door middel van een focusseerspoel (F) meer of minder op een punt van de plaat geconcentreerd worden, terwijl met behulp van twee deflectiespoelen (D) een begrensd gedeelte ($1{,}5 \times 2$ cm^2) van de fosforlaag door dit punt in twee onderling loodrechte richtingen kan worden afgetast. Men kan dus de electronenbundel op P een „raster" laten beschrijven en het is dit raster dat door het venster a wordt waargenomen. Natuurlijk is daarbij de stroomdichtheid in de electronenbundel groter dan de gemiddelde stroomdichtheid op het scherm. Het gevaar bestaat, vooral bij sulfidefosforen, dat daardoor verzadiging van de fluorescentie optreedt (zie noot [2])). De stroomdichtheid en de focussering worden echter zodanig geregeld dat verzadiging niet optreedt, of in zo geringe mate dat daarvoor gemakkelijk kan worden gecorrigeerd. De plaat P en de wand van de buis C zijn met elkaar verbonden en samen geaard via de microampèremeter M. De electronen die de laag verlaten, komen ten slotte alle hetzij in de plaat P of op het omhulsel C terecht. Bij het begin van de proef zullen ook electronen op het gedeelte B van de buiswand vallen. Dit deel is van glas, maar draagt aan de binnenzijde een laagje metaal, dat van A en C is geïsoleerd. Daar deze laag niet is geaard, ontstaat hier spoedig een negatieve potentiaal van dusdanige grootte dat secundaire electronen dit deel van de apparatuur niet meer kunnen bereiken. Dan is de op M afgelezen stroom gelijk aan de primaire electronenstroom die de plaat P treft. De metalen onderlaag moet beletten dat de fosfor zelf een negatieve potentiaal aanneemt.

De proeven waarbij de fosforen op glasplaten waren aangebracht, ten einde voor- en achterzijde van het scherm te kunnen observeren, werden met spanningen < 10 kV uitgevoerd, waarbij men in het algemeen geen hinder van lading van het scherm ondervindt.

De energie van de uitgezonden fluorescentie in het golflengtegebied 2000 Å $< \lambda <$ 7500 Å [4]) werd gemeten met behulp van fotocellen, die geijkt werden door vergelijking, via bepaalde fosforen, met een geijkte thermozuil. Ter beschikking stonden twee vacuumfotocellen, de ene met caesium-antimonium (constante gevoeligheid tussen 2500 Å en 5000 Å), de andere met rubidium (nagenoeg constant tussen 5000 Å en 7000 Å). De eerstgenoemde cel werd gebruikt voor de meting van blauw of ultraviolet emitterende fosforen, de andere voor groen, geel of rood lichtende fosforen. In het laatstgenoemde geval moet men zich door een afzonderlijke proef ervan overtuigen dat geen infrarode emissie aanwezig is, bijv. door de meting te herhalen na tussenplaatsen van een filter dat alleen straling met golflengte $>$ 7500 Å doorlaat. In sommige gevallen werd ook van een seleniumkeerlaagfotocel gebruik gemaakt. In *fig. 2* zijn de relatieve spectrale gevoeligheden van de gebruikte

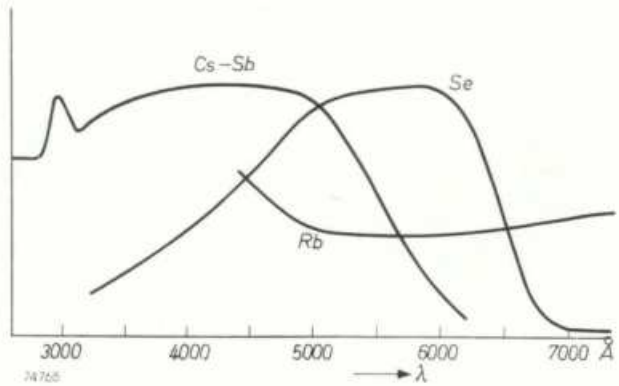


Fig. 2. Relatieve spectrale gevoeligheid der gebruikte fotocellen.

fotocellen weergegeven. De metingen geschiedden doorgaans bij 20 kV versnellende spanning. De stroomdichtheid in de electronenbundel bedroeg ca. 1 μA/cm^2.

Om bepaalde redenen, waarop hieronder nog nader zal worden ingegaan, was het gewenst de invloed van de temperatuur van de fosfor op het rendement te kennen. Hiervoor werd een buis gebruikt die in *fig. 3* is afgebeeld. De buis bevat een demonteerbare kathode en is voorzien van een focusseerspoel, echter niet van afbuigspoelen. De stilstaande bundel wordt enigszins convergerend gemaakt, maar niet scherp op de plaat gefocusseerd. De tempe-

[4]) De onderste grens van het golflengtegebied (2000 Å) was bepaald door de doorlating van de kwartsvensters.

Digitized in Heiloo the Netherlands Not for sale!

www.freeservicemanuals.info 11/14/2023

ratuur van de plaat kan worden geregeld met een onder de plaat aangebracht verhittingselement en gemeten met behulp van een aan de plaat bevestigd chromel-alumel thermo-element. De secundaire electronen worden opgevangen op de plaat P en

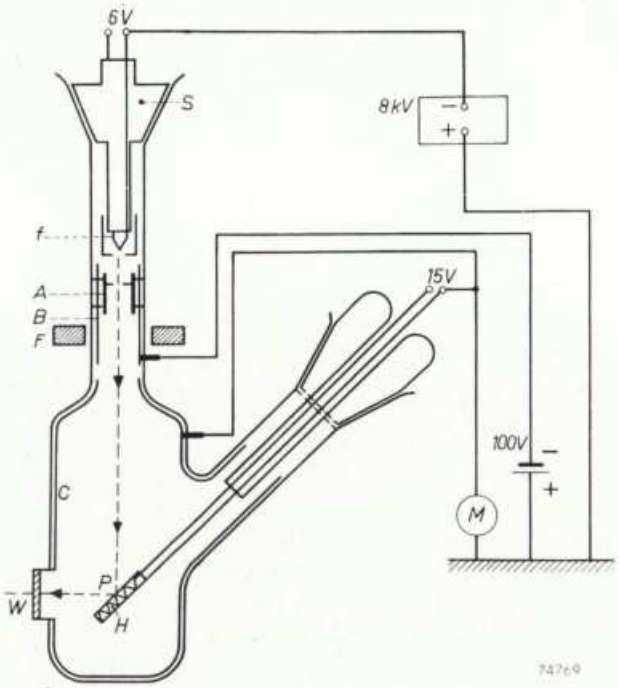


Fig. 3. Schema van de opstelling voor het meten van het rendement als functie van de temperatuur. S stop met verwisselbare kathode f, A anode, B metalen electrode, F focusseerspoel, C van binnen verzilverd glazen vat, W venster, P opvangplaat, H verhittingselement, M microampèremeter. De temperatuur van de fosfor op de opvangplaat wordt gemeten met een (niet getekend) thermo-element.

op de verzilverde wand van het glazen vat C, die samen via een microampèremeter zijn geaard. De rol van het deel B in fig. 1 wordt hier overgenomen door een van de wand van C geïsoleerde buis (in fig. 3 eveneens met B aangeduid), waaraan een spanning van —100 V wordt gelegd. Gewerkt werd meestal met een stroom van 2 tot 5 μA en een versnellende spanning van 8 kV.

Meting van het rendement

Zij O de oppervlakte van het thermo-element, $A{\cdot}O$ (watt/volt) de gevoeligheid en v de aan het element gemeten spanning, dan is de energie die per seconde het thermo-element treft $A\,O\,v$. Deze energie wordt door de fosfor uitgestraald binnen een openingshoek O/r^2 (r = afstand van thermo-element tot fosfor). Dan is de totale per seconde door de fosfor uitgestraalde energie, rekening houdend met de wet van Lambert en tevens corrigerend voor de doorlatingsfactor τ van het venster:

$$I = \pi r^2 A v/\tau \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad (5)$$

Is i_p de primaire electronenstroom en U de versnellende spanning, dan is de energie I_p van de per seconde op P vallende primaire electronenstroom gelijk aan $i_p{\cdot}U$ en dus het rendement:

$$\eta_m = \frac{I}{I_p} = \frac{\pi r^2 A v}{i_p U \tau} \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad (6)$$

Wij zagen boven reeds hoe men uit dit gemeten rendement η_m het intrinsieke rendement η_i kan afleiden.

De resultaten van een aantal metingen zijn in *tabel I* verenigd. De eerste kolom geeft het gemeten rendement η_m onder de genoemde omstandigheden, de tweede kolom het reflectievermogen R_∞ voor licht van dezelfde spectrale samenstelling als het fluorescentielicht, de derde kolom het hieruit afgeleide intrinsieke rendement η_i. De vierde kolom bevat het uit de spectrale verdeling berekende lichtequivalent (lm/W) van de fluorescentie en de vijfde kolom het product van de getallen uit de kolommen 1 en 4, dus de uitgezonden lichtstroom in lumens, per watt vermogen van de primaire electronen. De zesde kolom geeft een aanwijzing betreffende de kleur van het fluorescentielicht.

De sulfidefosforen ZnS-Ag-Cl en (ZnCd)S-Ag-Cl worden o.a. toegepast bij televisie-weergeefbuizen voor direct zicht, (ZnCd)S-Ag-Cl (maar met lager percentage Cd en dus groenere fluorescentie dan in tabel I aangegeven) bovendien voor het

Tabel I. Rendementen van de fluorescentie van een aantal fosforen bij bestraling met electronen van 20 kV.

Fosfor	η_m %	R_∞ %	η_i %	$\frac{lm}{W_r}$	$\frac{lm}{W_e}$	Kleur
ZnS-10^{-4}Ag-Cl	21			35	7	blauw
ZnS-$5{\cdot}10^{-4}$Ag-$5{\cdot}10^{-4}$Al	23	83	25	35	8	blauw
(50Zn·50Cd)S-$5{\cdot}10^{-5}$Ag-Cl	19,5			500	98	geel
ZnS-10^{-5}Cu-10^{-4}Al	23	83	25	400	92	groen
ZnS-0,015 Mn	4	87	4,5	460	18,5	geel
ZnO-Zn	7	85	7,5	340	24	groen
$CaWO_4$	3	80	3,5	70	2	blauw
$MgWO_4$	2	97	2	250	5	blauw-achtig
CaO.MgO.SiO_2-0,03Ti	7	91	7,5	70	5	blauw
Zn_2SiO_4-0,004 Mn	8,5	99	8,5	475	40	groen
2(88ZnO·12BeO). SiO_2-0,02 Mn	7	97	7	450	31	geel
$Cd_2B_2O_5$-0,002 Mn	5,5	96	5,5	240	13	oranje
$Cd_5Cl(PO_4)_3$-0,05 Mn	7	95	7	400	28	oranje
$Zn_3(PO_4)_2$-0,03 Mn	8	100	8	170	13,5	rood
2CaO.Al_2O_3.SiO_2-0,04 Ce	4	90	4			blauw

Digitized in Heiloo the Netherlands Not for sale!

www.freeservicemanuals.info 11/14/2023

scherm van de electronenmicroscoop. De fosforen $CaO.MgO.SiO_2$-Ti en $2(ZnO.BeO).SiO_2$-Mn worden toegepast in buizen voor televisieprojectie. $CaWO_4$ vindt toepassing in de röntgentechniek. De fosforen ZnO-Zn en $2CaO.Al_2O_3.SiO_2$-Ce zijn merkwaardig om hun korte nalichttijd (10^{-6} resp. 10^{-7} sec); zij worden gebruikt voor het uitzenden van films per televisie met behulp van het aftastsysteem („flying spot scanner"). Zn_2SiO_4-Mn (willemiet) wordt gebruikt in oscillograafbuizen. Deze laatste (groen lichtende) fosfor is, tezamen met $Zn_3(PO_4)_2$-Mn (rood) en $CaO.MgO.SiO_2$-Ti (blauw), ook van belang voor bepaalde systemen van kleurentelevisie.

Verder zijn in de tabel nog enige fosforen opgenomen die voor hetgeen volgt van interesse zijn (tabel II).

Invloed van de temperatuur op het rendement

Bij het bombarderen van het scherm door de primaire electronen wordt, zoals wij zagen, slechts een deel (η_i) der energie in straling omgezet. De rest komt uiteindelijk in de vorm van warmte in

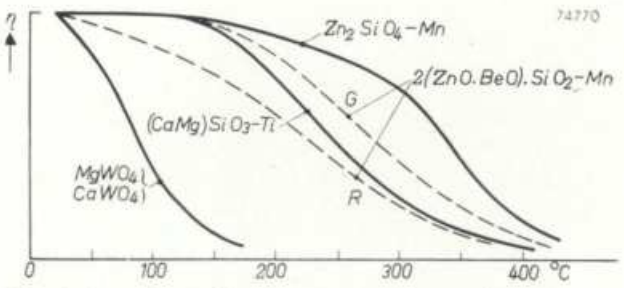


Fig. 4. Invoed van de temperatuur op het rendement η van een aantal fosforen. De kromme *G* betreft de groene, *R* de rode band van de ZnBe-fosfor.

het scherm vrij. Bij buizen voor televisieprojectie bij voorbeeld, waarbij het scherm sterk vergroot wordt afgebeeld (grootbeeldprojectie), wordt het scherm zo heet dat luchtkoeling moet worden toegepast om de temperatuur niet te hoog te doen oplopen. Het is hierom wel duidelijk dat het van belang is, na te gaan hoe het rendement van de fluorescentie van de temperatuur afhangt. Voor een aantal fosforen werd dit, met behulp van de in fig. 3 afgebeelde apparatuur, nader bestudeerd. Voor deze metingen werd, voor zover het blauw lichtende fosforen betreft, gebruik gemaakt van de Cs-Sb vacuumfotocel, voor de andere fosforen van de seleniumcel [5]).

[5]) Weliswaar hangt de spectrale verdeling van de temperatuur af (zij wordt meestal met toenemende temperatuur iets breder), maar bij de meting van het energierendement als functie van de temperatuur maakt men hierdoor, zelfs bij de ongelijkmatige spectrale gevoeligheid van de seleniumcel, toch geen grote fouten. Wel kan deze verandering van de spectrale verdeling een merkbare invloed hebben op de kleur van het fluorescentielicht.

In de meeste gevallen vindt van een zekere temperatuur af een sterke daling van het energierendement plaats. Bij andere fosforen is de daling minder sterk of is er aanvankelijk zelfs een stijging.

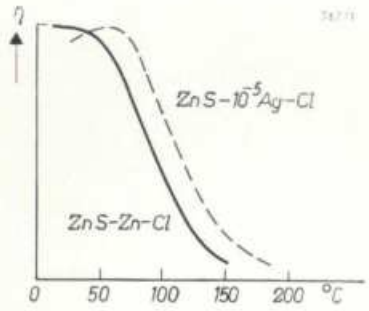


Fig. 5. Invloed van de temperatuur op het rendement η van een tweetal sulfidefosforen.

In de *figuren 4* en *5* zijn een aantal resultaten grafisch weergegeven. Tegen de temperatuur (in °C) is uitgezet het relatieve rendement in percenten, dus 100 η/η_{max}, waarin η_{max} het maximale onder de gegeven omstandigheden waargenomen rendement voorstelt.

Invloed van de energie der primaire electronen op het rendement

Van enkele fosforen werd bovendien nagegaan hoe het rendement varieert met de energie der primaire electronen, dus met de versnellende spanning. De resultaten zijn weergegeven in *fig. 6*. Als abscis is uitgezet de versnellende spanning in kV, als ordinaat het relatieve rendement in percenten (100 η/η_{max}), waarin η_{max} thans het onder deze omstandigheden gemeten maximale rendement voorstelt. Dit maximale rendement werd meestal

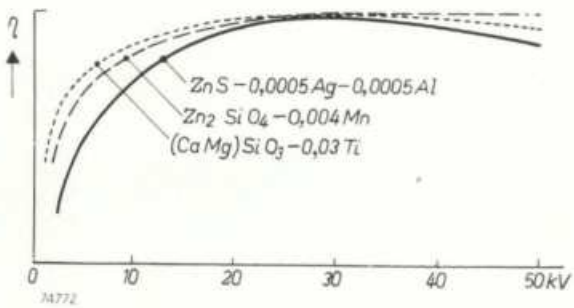


Fig. 6. Invloed van de versnellende spanning op het rendement η van een aantal fosforen.

bereikt bij een spanning van 25 tot 30 kV. Voor sommige fosforen blijft van deze spanning af het rendement constant, bij andere vindt men met toenemende spanning een geringe daling. Het is

Digitized in Heiloo the Netherlands Not for sale!

www.freeservicemanuals.info 11/14/2023

niet zonder meer duidelijk waaraan deze daling moet worden toegeschreven. Zij kan het gevolg zijn van een toenemende invloed van de absorptie, doordat bij hogere spanning de electronen dieper in de laag doordringen en het fluorescentielicht dus een langere weg moet afleggen alvorens uit te treden. Het is echter ook mogelijk dat, bij toenemende snelheid der primaire electronen, de kans op elastische botsingen toeneemt (ten koste van de onelastische botsingen) en daarmee het aantal gereflecteerde primaire electronen. Het zal verder duidelijk zijn dat het gedrag van het rendement als functie van de spanning bij kleine electronenenergieën niet uit de in fig. 6 weergegeven metingen kan worden afgeleid.

Vergelijking met de fluorescentie opgewekt door ultraviolette straling

Zoals uit tabel I blijkt, kan het rendement van de fluorescentie door electronen aanzienlijke waarden bereiken, tot 25% toe. Dit is vooral merkwaardig als men, aan de hand van het in de inleiding gezegde, nagaat op hoeveel manieren energie verloren gaat (elastische botsingen, stralingloze overgangen). Bij de bestraling met ultraviolet treden minder oorzaken van energieverlies op; hier vindt men dan ook vaak hogere rendementen. Het quantumrendement (kans op een uitgezonden quantum zichtbaar licht per geabsorbeerd ultraviolet quantum) bereikt daarbij vaak een waarde in de buurt van 100%. Daar de ultravioletquanta echter energierijker zijn dan de uitgezonden lichtquanta, is het energierendement, zelfs in de gunstigste gevallen, natuurlijk lager, doorgaans niet hoger dan 50%.

Tabel II. Rendement van de fluorescentie van enige fosforen bij bestraling met electronen en met ultraviolet.

Fosfor	energierendement		
	electronen van 20 kV	straling van 2537 Å	straling van 3650 Å
ZnS-5·10⁻⁴ Ag-5·10⁻⁴ Al	23	3	21
(ZnCd)S-Ag-Cl	19	10	35
ZnS-Cu-Cl	18	10	40
Zn_2SiO_4-Mn	8	45	—
$(Zn\,Be)_2SiO_4$-Mn	7	40	—
$MgWO_4$	2	45	—
$Cd_2B_2O_5$-Mn	5,5	35	—

Uit *tabel II*, waarin voor een aantal fosforen naast elkaar is aangegeven het rendement bij bestraling met kathodestralen resp. onder invloed van ultraviolet met golflengten 2537 Å en 3650 Å, blijkt dat bij sulfiden, energetisch beschouwd, de fluorescentie door bestraling met electronen niettemin kan wedijveren met die door ultraviolet en deze in sommige gevallen zelfs overtreft.

Lichtopbrengst bij dunne schermen

In het voorgaande werd aangegeven hoe men uit de fluorescentie van een zeer dikke laag, waarbij alleen uit de achterzijde licht treedt, het intrinsieke rendement η_i kan afleiden. In de practijk heeft men meestal te maken met dunne schermen, die aan de voorzijde worden bekeken. De totale opgewekte lichtstroom $\eta_i I_p = I_0$ (gemeten in energiemaat) geeft dan aanleiding tot een lichtstroom T die aan de voorzijde uit het glas treedt en een lichtstroom R die aan de achterzijde het scherm verlaat. In het algemeen is

$$R + T < I_0,$$

omdat een deel der stralingsenergie door absorptie in het scherm verloren gaat. In *fig. 7* is het theoretisch te verwachten verloop van R, T en $R + T$

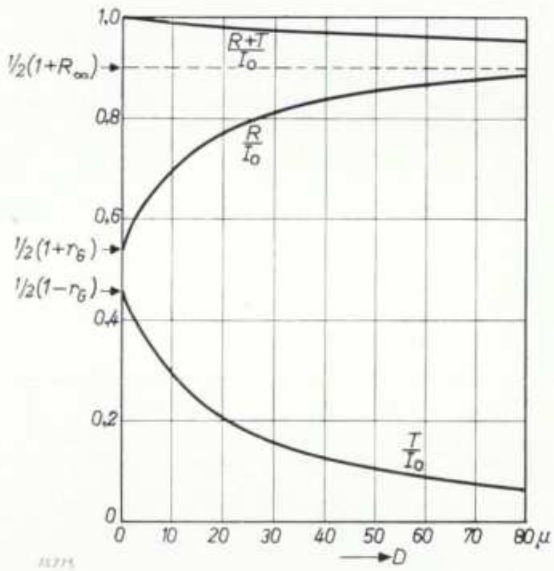


Fig. 7. Theoretisch verloop van de aan de voorzijde (T), aan de achterzijde (R) en totaal ($R+T$) uitgestraalde lichtenergie, in verhouding tot de intrinsieke energie I_0, als functie van de dikte D, berekend met formules (7) en (8) (zie Aanhangsel; $a = 15\ cm^{-1}$, $s = 600\ cm^{-1}$, $R_\infty = 0{,}8$, $r_G = 0{,}08$).

weergegeven als functie van de schermdikte D (zie Aanhangsel). Hierbij is ondersteld dat de electronenenergie I_p geheel door het scherm zou worden opgenomen. Het is duidelijk dat dan bij zeer dunne lagen de helft van het licht aan de voorzijde en de helft aan de achterzijde wordt uitgestraald, dus voor $D \approx 0$ wordt theoretisch $R = T = \frac{1}{2} I_0$, of, na correctie voor de reflectie aan de glaswand, $R = \frac{1}{2} I_0 (1 + r_G)$ en $T = \frac{1}{2} I_0 (1 - r_G)$, waarin r_G de reflectiecoëfficient van de glazen wand voorstelt.

Men ziet dat de lichtstroom T, waarop het aankomt, hoogstens ca. 45% van de totale fluorescentiestraling zou kunnen bedragen. In werkelijkheid

Digitized in Heiloo the Netherlands Not for sale!

www.freeservicemanuals.info 11/14/2023

worden bij kleine schermdikten de bereikbare waarden van T nog geringer dan door fig. 7 wordt aangegeven, doordat dunne schermen niet de gehele electronenenergie I_p opnemen. Dit heeft twee oorzaken. Is de laagdikte kleiner dan de indringdiepte der electronen (bij 10 kV van de orde van 1 μ), dan dringen primaire electronen ten dele door de kristallen heen zonder energie af te geven. Ten tweede ontstaan er door de eindige grootte der kristallen gaten in de laag als D zeer klein wordt, of nauwkeuriger: als de bedekking M van het scherm (d.i. het aantal mg fluorescerende stof per cm^2) klein wordt. De doordringing en vooral de onvolledige bedekking maken, dat R en T beide bij kleine waarden van M tot nul naderen. Aangezien T, zoals wij gezien hebben, ook bij grote schermdikten naar nul gaat (verstrooiing en absorptie), moet er een optimale bedekking bestaan, waarbij de aan de voorzijde verkregen lichtstroom het grootst wordt. Dit wordt duidelijk gedemonstreerd door *fig. 8*, waarin de uitkomsten van metingen van R en T bij een willemietscherm (Zn_2SiO_4-Mn) zijn weergegeven. Bij schermen met optimale dikte bedraagt

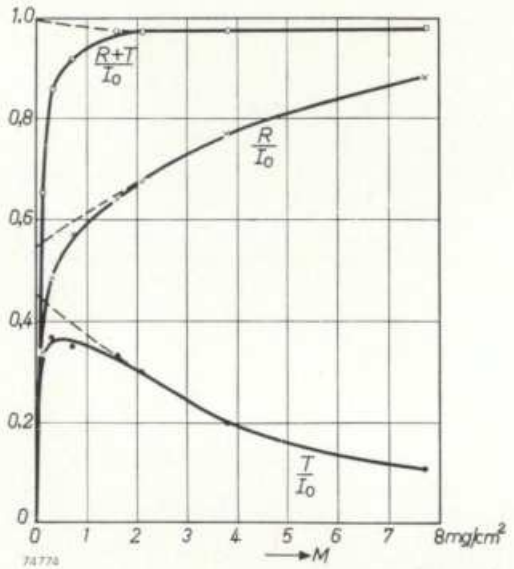


Fig. 8. Straling van een willemietscherm, bij 10 kV versnellende spanning, aan de voorzijde (T), aan de achterzijde (R) en in totaal ($R+T$), als functie van de bedekking M. Gestippeld zijn de theoretische krommen als in fig. 7 aangegeven.

de aan de voorzijde uitgestraalde energie T meestal 30 tot 40% van de theoretische totale fluorescentieenergie I_0. (Aan de achterzijde krijgt men daarbij 60 tot 50 %; de som is kleiner dan 100%, doordat 5 tot 15% van de primaire electronenenergie I_p reeds ten gevolge van de onvolledige bedekking verspild wordt.)

Aanzienlijk gunstiger is de situatie bij een bepaalde categorie fluorescentieschermen, nl. die aan de achterzijde met een metaallaagje worden bedekt (schermspiegel, „metal backing"). Deze maatregel wordt in sommige gevallen genomen om een lading van het scherm door de er op vallende electronen te voorkomen (waartoe het metaallaagje met de anode wordt verbonden). Ook belet zulk een laagje grotendeels het bombardement van de fosfor door negatieve ionen (ionenvlek). Tevens

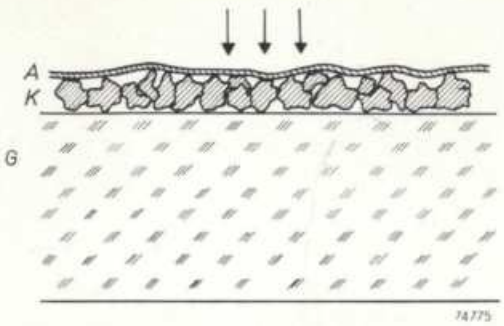


Fig. 9. Glazen plaat (G) met fosforkristallen (K) en aluminiumlaag (A), na verwijdering van de nitrocelluloselaag. De pijltjes stellen de aankomende electronen voor.

echter heeft het aanbrengen van het metaallaagje het aangename gevolg dat het naar achteren uitgestraalde licht (R) voor een groot deel naar voren wordt teruggekaatst, dus gaat bijdragen tot de nuttige lichtstroom T.

De bedekking wordt als volgt uitgevoerd: eerst wordt op de laag kristallen, door verdamping uit een oplossing, een laagje van een organische stof (bijv. nitrocellulose) gebracht, dat dient om de gaten en oneffenheden op te vullen en een glad oppervlak te doen ontstaan. Op dit gladde oppervlak wordt dan door verdamping aluminium neergeslagen. Later wordt door verhitting de organische stof verwijderd, zodat het aluminium als een spiegelende laag op uitstekende punten van het scherm blijft rusten (*fig. 9*). De primaire electronen moeten deze laag, die voor licht ondoorlatend is, doordringen voordat zij het scherm treffen [6]). Weliswaar treedt daarbij een gering energieverlies op (enkele kV per micron aluminium) maar de lichtwinst die door de reflectie van het aluminium wordt verkregen, weegt daar ruimschoots tegen op; het aluminium heeft namelijk een grote reflectiecoëfficient (in de buurt van 80%, zie ook het Aanhangsel).

Doordat de reflectie van het aluminiumlaagje eerst bij een zekere laagdikte deze grote waarde bereikt, vinden wij dat ook voor dit metaallaagje

[6]) Zie J. de Gier, Een televisieontvanger met geprojecteerd beeld, Philips techn. T. **10**, 124-136, 1948, in het bijzonder blz. 133-135.

Digitized in Heiloo the Netherlands Not for sale!

www.freeservicemanuals.info 11/14/2023

een optimale dikte bestaat. In *fig. 10* is de uitgestraalde lichthoeveelheid in relatieve maat voor een dun willemietscherm als functie van de dikte van de aluminiumlaag uitgezet. Men ziet dat reeds bij

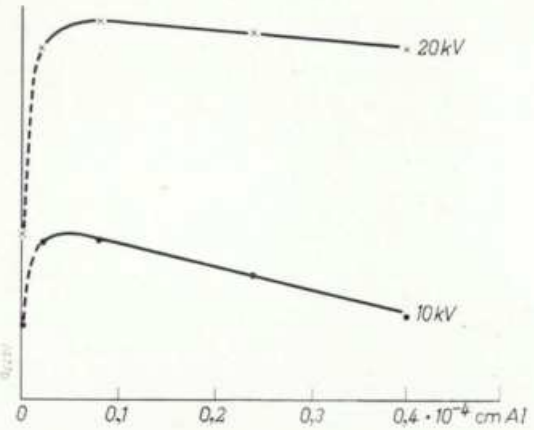


Fig. 10. Straling, in relatieve maat, aan de voorzijde van een dun willemietscherm dat aan de achterzijde met een aluminiumlaag is bedekt, als functie van de dikte van deze laag, bij 10 kV en 20 kV versnellende spanning.

zeer geringe dikten (enkele 0,01 μ Al) een maximum wordt bereikt, gevolgd door een langzame daling. Deze daling is dus het gevolg van het energieverlies der primaire electronen. Men vindt, ten opzichte van de naar dikte nul geëxtrapoleerde waarde, bij 20 kV een verlies van 10% en bij 10 kV een verlies van 50%, beide bij 0,4 μ aluminium [7]). De gunstigste dikte van de aluminiumlaag is 0,02 tot 0,08 μ bij 10 kV en circa 0,1 μ bij 20 kV.

Het bestaan van een optimale dikte van de fosforlaag wordt door het aanbrengen van de aluminiumspiegel niet aangetast, doch de optimale dikte verschuift naar een iets grotere waarde. Het optimum komt voor den dag doordat enerzijds ook hier bij onvolledige bedekking en doordringing van het scherm door de electronen de emissie (T') van het scherm naar nul gaat, anderzijds deze emissie bij toenemende laagdikte monotoon afneemt. Dit laatste zou niet het geval zijn als de absorptie van het scherm nul was en de reflectiecoëfficient van het aluminium 100%. Dan zou namelijk al het licht, na één of meer reflecties tegen de aluminiumlaag, aan de voorzijde uittreden. Hoe groter de laagdikte, dus hoe groter R (zie fig. 7), des te groter is de rol der herhaalde reflecties en het is duidelijk, dat vooral deze zwakker worden als de reflectiecoëfficient van 1 afwijkt.

Vergelijkt men de optimale waarden van T' (met aluminium) en van T (zonder aluminium), dan blijkt de versterking een factor 2 tot 2,2 te bedragen.

Indien men uit het voorgaande wil afleiden welke lichtopbrengsten men onder de gunstigste voorwaarden in de practijk mag verwachten, moet nog rekening gehouden worden met het feit dat onder de fabricage-omstandigheden van het scherm het rendement van de fosfor meestal 10% lager is dan de oorspronkelijke waarde. Verder treedt onder de omstandigheden waaronder men kathodestraalbuizen met een sulfidescherm in de practijk toepast, meestal een geringe verzadiging op, die nogmaals een verlies van 10 tot 15% veroorzaakt.

Voor een wit fluorescerend sulfidemengsel is het intrinsieke lichtrendement ongeveer 60 lm/W. In verband met de boven besproken verliezen kan men dan bij een dergelijk mengsel aan de voorzijde van een scherm zonder schermspiegel maximaal een lichtopbrengst van 15 lm/W en dus een specifieke lichtsterkte van ongeveer 5 cd/W verwachten en bij een scherm met schermspiegel 30 lm/W resp. 10 cd/W.

De hiertoe vereiste versnellende spanning bedraagt minimaal 10 kV.

Aanhangsel. Theoretische behandeling van verstrooiing en absorptie

De lichtverstrooiing en -absorptie in het scherm kunnen theoretisch worden afgeleid met behulp van formules die gegeven zijn door Hamaker, Klasens, Coltman e.a. [8]) en die teruggrijpen op een door Schuster (1905) ontwikkelde theorie.

In deze theorie wordt aangenomen dat de eigenschappen van het scherm bepaald worden door twee constanten, s en a, waarvan de eerste betrekking heeft op de verstrooiing en de laatste op de absorptie van licht van de spectrale samenstelling van het fluorescentielicht. Aangenomen wordt, dat deze laatste door de absorptie niet verandert, zodat s en a in een gegeven geval als constanten mogen worden beschouwd. Verder wordt ondersteld dat de fosforlaag homogeen is, dwz. de korrelgrootte is te verwaarlozen ten opzichte van de dikte van het scherm.

Volgens Schuster worden de effecten van verstrooiing en absorptie beschreven door de volgende differentiaalvergelijkingen:

$$\frac{dJ_1}{dx} = -(a+s)J_1 + sJ_2,$$

$$\frac{dJ_2}{dx} = (a+s)J_2 - sJ_1,$$

waarin J_1 en J_2 de lichtstromen, op een plaats x, in beide richtingen loodrecht op het scherm voorstellen. Aan de achterzijde van het scherm ($x = 0$) is J_2 gelijk aan R en aan de voorzijde ($x = D$) is J_1 gelijk aan T.

[7]) Bij 50 kV en dezelfde dikte bedraagt het energieverlies slechts 1 tot 2%. Zie bijv. F. Kirchner, Ann. Physik. **30**, 683-688, 1937.

[8]) H. C. Hamaker, Philips Res. Rep. **2**, 55-67, 1947.
H. A. Klasens, Philips Res. Rep. **2**, 68-78, 1947.
J. W. Coltman, E. G. Ebbighausen en W. Altar, J. appl. Phys. **18**, 530-544, 1947.
Voor verdere literatuur zie noot [1]).

Digitized in Heiloo the Netherlands Not for sale!

www.freeservicemanuals.info 11/14/2023

R en T worden gevonden door de differentiaalvergelijkingen op te lossen en passende randvoorwaarden in te voeren.

Men vindt voor de grootheden R en T, als men de afkorting $[a(a+2s)]^{1/2} = \sigma$ invoert:

$$T = \tfrac{1}{2} I_0 \frac{1-r_G}{\frac{a+(1-r_G)s}{\sigma}\sinh \sigma D + \cosh \sigma D} \quad . \quad . \quad (7)$$

$$R = \tfrac{1}{2} I_0 \frac{(1+r_G)\cosh \sigma D + \frac{(1-r_G)(a+2s)}{\sigma}\sinh \sigma D}{\frac{a+(1-r_G)s}{\sigma}\sinh \sigma D + \cosh \sigma D} \quad . \quad (8)$$

Uit de theorie volgt verder, dat

$$\frac{s}{a} = \frac{2R_\infty}{(1-R_\infty)^2} \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad (9)$$

Met behulp hiervan leidt men uit (7) en (8) de betrekking af:

$$\frac{R}{T} = \frac{1+r_G}{1-r_G}\cosh \sigma D + \frac{1+R_\infty}{1-R_\infty}\sinh \sigma D \quad . \quad . \quad (10)$$

Als σD voldoende klein is (bijv. $\sigma D < 0{,}3$), is bij benadering

$$\frac{R}{T} = \frac{1+r_G}{1-r_G} + (a+2s)D \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad (11)$$

Gaan we het verloop van de functies T en R na, dan blijkt voor $D \to 0$, dat $T = \frac{1}{2} I_0 (1-r_G)$ en $R = \frac{1}{2} I_0 (1+r_G)$, alsmede $R+T = I_0$, zoals te verwachten was. Bij toenemende D daalt T monotoon en neemt R toe. Indien $a = 0$ is, blijft $R+T = I_0$, aangezien er geen energie door absorptie verloren gaat. Is $a \neq 0$ en laten we D weer toenemen, dan nadert $R+T$, evenals R zelf, monotoon tot de waarde $\frac{1}{2} I_0 (1+R_\infty)$, welke overeenkomt met het boven aangegeven rendement $\eta_m = \frac{1}{2}(1+R_\infty)\eta_i$. Terwijl het gedrag van de functies (7) en (8) voor $D \to \infty$ dus goed overeenkomt met wat wij practisch mogen verwachten, wordt, zoals boven werd aangetoond, bij de overgang $D \to 0$ de situatie in de practijk geheel anders doordat de electronenenergie niet meer volledig door het scherm wordt opgenomen.

De grootheden s en a, die de eigenschappen van het scherm moeten karakteriseren, zijn in het algemeen niet bekend. In een aantal gevallen werden de grootheden R, T, R_∞, r_G en D gemeten en daaruit, met behulp van de formules (9) en (10) of (11), a, s en D berekend. De uitkomsten zijn voor het genoemde willemietscherm (fig. 8) in *tabel III* verenigd.

Tabel III. Metingen aan willemiet (Zn_2SiO_4-Mn).

M mg/cm²	σ cm^{-1}	s cm^{-1}	a cm^{-1}
2	45	900	1
4	55	1100	1,5
6	65	1300	1.5
7,5	80	1650	2

Het blijkt, dat de gevonden waarden van σ en s niet constant zijn, maar afhangen van de laagdikte. Dit is te verklaren uit het feit, dat lagen met $M = 2$ tot 7 mg/cm² feitelijk nog te dun zijn om er met succes de theoretische formules op toe te passen. Voor dikkere lagen wordt echter de meting van T onzeker.

Ook in het geval van een scherm met schermspiegel (met reflectiecoëfficient r_A) is het in principe mogelijk de uittredende lichthoeveelheid uit de formules van Hamaker te berekenen. Men vindt:

$$T' = \tfrac{1}{2} I_0' \frac{(1-r_G)(1+r_A)}{\frac{(1+r_G r_A)\,a + (1-r_G)(1-r_A)s}{\sigma}\sinh \sigma D + (1-r_G r_A)\cosh \sigma D} \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad (12)$$

Hierbij is $I_0' = \eta_i I_p'$, waarin I_p' ($< I_p$) de energie der primaire electronen na doorgang door de aluminiumlaag voorstelt. I_0' is dus iets kleiner dan I_0. In vele gevallen kan de grootheid r_G (ongeveer 8%) verwaarloosd worden. Neemt men dan verder aan dat $\sigma D < 0{,}3$, dan luidt de formule:

$$T' = \tfrac{1}{2} I_0' \frac{1+r_A}{1+[a+(1-r_A)s]\,D} \quad . \quad . \quad . \quad . \quad (13)$$

Hieruit volgt dat, als $r_A = 1$ zou zijn en $a = 0$, men zou vinden $T' = I_0'$. In dat geval zou, zoals te verwachten is, al het door de electronen geproduceerde licht aan de voorzijde uittreden, hoe dik het scherm ook gemaakt zou worden.

Indien r_A van 1 verschilt, kan men de te verwachten verbetering uitrekenen met behulp van de formules (12) of (13). De waarden van a, s en σ kan men hierbij ontlenen aan de boven beschreven meetresultaten; omgekeerd kan men uit metingen met en zonder aluminium r_A berekenen.

Voor een gegeven aluminiumlaag (dikte 0,3 μ) werd voor willemiet het relatieve rendement gemeten als functie van de laagdikte in mg/cm² van de fosfor. Uit de kromme van 20 kV werd de grootheid r_A bepaald, gebruik makend van formule (13) in de vorm

$$\frac{T_1'}{T_2'} = \frac{1+[a+(1-r_A)\,s]\,D_2}{1+[a+(1-r_A)\,s]\,D_1} \quad . \quad . \quad . \quad . \quad (14)$$

waarin D_1 en D_2 twee waarden van de laagdikte voorstellen en T_1'/T_2' de verhouding van de bij deze laagdikte gevonden lichtemissies. Voor waarden van D_1 en D_2, corresponderend met bedekkingen van resp. 1,5 mg/cm² en 7,5 mg/cm², wordt gevonden $T_1'/T_2' = 1{,}5$, waaruit volgt $r_A = 0{,}83$. Directe meting aan hetzelfde aluminiumlaagje, na opening van de buis, gaf $r_A = 0{,}82$. In andere gevallen was de overeenstemming minder goed, maar uit diverse metingen kan men afleiden dat r_A ongeveer gelijk aan 80% mag worden gesteld.

Samenvatting. Na een inleidende beschouwing over het mechanisme der cathodoluminescentie en over de lichtverstrooiing en -absorptie in het scherm van een kathodestraalbuis of weergeefbuis, volgt een beschrijving van meetmethodes die ten doel hebben het intrinsieke rendement van de omzetting van electronenenergie in lichtenergie te bepalen. De resultaten van metingen aan een aantal fosforen, waarbij ook de temperatuur van de fosfor en de energie der primaire electronen werden gevarieerd, worden meegedeeld. Aan de hand van metingen wordt verder vastgesteld welke lichtsterkten men aan de voorzijde van een normaal scherm mag verwachten, zowel bij onbedekte schermen als bij schermen die aan de achterzijde met een aluminiumlaag zijn bedekt. Er blijkt een optimale bedekking van het scherm en een optimale laagdikte van het aluminium te zijn, waarbij de beste resultaten worden verkregen. Een en ander wordt ook theoretisch nagegaan.

Digitized in Heiloo the Netherlands Not for sale!

www.freeservicemanuals.info 11/14/2023

OVERZICHT VAN RECENTE WETENSCHAPPELIJKE PUBLICATIES DER N.V. PHILIPS' GLOEILAMPENFABRIEKEN

Van deze publicaties, voor zover niet met een sterretje * gemerkt, verstrekt de Administratie van het Natuurkundig Laboratorium, Kastanjelaan, Eindhoven, op aanvrage overdrukken.

2016: H. Bremmer: The jumps of discontinuous solutions of the wave equation (Comm. pure and appl. Math. **4**, 419-426, 1951, No. 4).

Het verband wordt bestudeerd dat bestaat tussen stationnaire oplossingen (afkomstig van oscillerende ladingen en stromen) en discontinue oplossingen (beantwoordend aan het plotseling inzetten van ladingen en stromen, gelijk aan de amplitudes die behoren bij de stationnaire oplossing) van de vergelijkingen van Maxwell. De desbetreffende theorie van Luneberg is gebaseerd op een integratie van de Maxwell-vergelijkingen over vierdimensionale ruimte-tijd-gebieden. De schrijver vereenvoudigt deze theorie door bij de behandeling van de sprongen van de discontinue oplossingen langs de golffronten gebruik te maken van eenheidsfuncties (Heaviside) en deltafuncties (Dirac). De vergelijkingen voor de eikonaal en voor de genoemde sprongen worden in bijzonderheden behandeld.

2017: E. J. W. Verwey, P. B. Braun, E. W. Gorter, F. C. Romeijn en J. H. van Santen: Die Verteilung der Metallionen im Spinellgitter und deren Einfluss auf die physikalischen Eigenschaften (Z. phys. Chemie **198**, 6-22, 1951, No. 1-4).

Na een bespreking van de langs röntgenanalytische weg bepaalde kationenverdelingen in de verschillende zuurstofspinellen wordt met behulp van een heteropolair model onderzocht, in welke gevallen men normale resp. omgekeerde spinellen mag verwachten. Bij de omgekeerde spinellen wordt bijzondere aandacht gewijd aan het probleem van de ordening. De electrische eigenschappen der ferrietspinellen zijn in overeenstemming met vroeger ontwikkelde opvattingen. Het verschil tussen Fe_3O_4 en Mn_3O_4 wordt besproken. De ferromagnetische verzadiging van de enkelvoudige ferrieten en hun mengkristallen met zinkferriet kan met behulp van de theorie van Néel worden verklaard. De indirecte plaatsruilwisselwerking tussen de magnetische ionen wordt besproken. De invloed van de hoek Fe-O-Fe en de veranderingen daarvan zijn in kwalitatieve overeenstemming met de theorie van Anderson. Zie Philips techn. T. **9**, 186-192 en 239-248, 1949, en **14**, 33-49, 1952 (No. 2).

2018: C. J. Schoot, J. Bakker en K. H. Klaassens: Remark on the article by S. R. Shunmickham, V. C. Hallenbeck and R. L. Guile, "Emulsion polymerisation of styrene, II. Effect of agitation" (J. Polymer Sci. **7**, 657, 1951, No. 6).

Het door Shunmickham e.a. geconstateerde effect van roeren op de polymerisatie van styreen wordt toegeschreven aan de verontreiniging van de bij de experimenten gebruikte stikstof door sporen zuurstof.

2019: H. P. J. Wijn en J. J. Went: The magnetization process in ferrites (Physica **17**, 976-992, 1951, No. 11-12).

Magnetiseringskrommen van ferrieten zijn bepaald tot veldsterkten ter grootte van de coërcitiefkracht, met de frequentie als parameter (tot $f = 2$ MHz). Het blijkt dat in gesinterde keramische ferrieten met grote aanvangspermeabiliteit de magnetisatie tot stand komt door minstens twee processen. Eén daarvan is in het onderzochte frequentiegebied onafhankelijk van de frequentie. Dit proces bepaalt de aanvangspermeabiliteit. Het andere heeft een relaxatiefrequentie van ongeveer 200 kHz; dit proces is verantwoordelijk voor de irreversibele processen tijdens de magnetisatie. Uit metingen aan monsters ferriet die bij verschillende temperaturen gesinterd zijn, kan men afleiden dat het van de frequentie afhankelijke deel van de magnetisatie veroorzaakt wordt door irreversibele verplaatsingen van Bloch-wanden, terwijl moet worden aangenomen dat de aanvangspermeabiliteit tot stand komt door reversibele draaiing van de magnetisatie in Weiss-gebiedjes naar de richting van het uitwendige veld (in afwijking van wat men aanneemt bij ferromagnetische metalen). Uit de discussie blijkt dat noch wervelstromen, noch enig bekend traagheidseffect verantwoordelijk zijn voor de relaxatiefrequentie van de Bloch-wanden bij 200 kHz.

Digitized in Heiloo the Netherlands Not for sale!